ISSN 2078-7138

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

АГРОПАНОРАМА

№ 1
февраль
2022

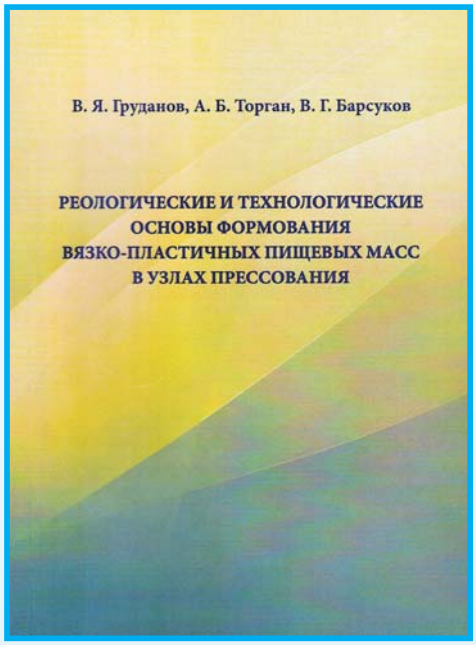
Интенсификация процесса резания при магнитно-абразивной обработке концентрацией магнитного поля

Обоснование скорости зажимного транспортера обмолачивающего устройства линии первичной переработки льна

К оценке напряженного состояния на стенках поры

Оценка проявления рисков в сельском хозяйстве Республики Беларусь

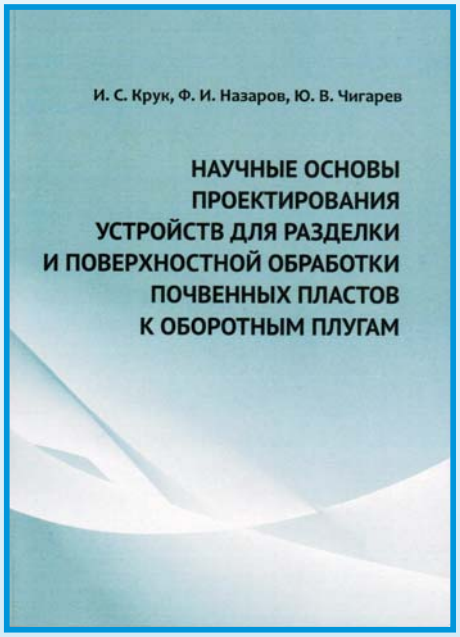
НАШИ ИЗДАНИЯ



Груданов, В.Я. Реологические и технологические основы формования вязко-пластичных пищевых масс в узлах прессования / В.Я. Груданов, А.Б. Торган, В.Г. Барсуков. – Минск: БГАТУ, 2021. – 180с.

Рассмотрены актуальные проблемы в области создания высокоэффективных узлов прессования макаронных прессов на основе математических моделей, отражающих реологические и технологические закономерности течения макаронного теста в конфузорно-диффузорных каналах матриц. Представлены новые технические решения, приведена современная классификация матриц отечественного и зарубежного производства, разработана инженерная методика определения прочностных, тепловых и гидравлических характеристик составных биметаллических матриц с температурными зазорами.

Адресуется научным и инженерно-техническим работникам, преподавателям, аспирантам и магистрантам.



Крук, И.С. Научные основы проектирования устройств для разделки и поверхностной обработки почвенных пластов к оборотным плугам / И.С. Крук, Ф.И. Назаров, Ю.В. Чигарев. – Минск: БГАТУ, 2021. – 228 с.

В монографии приведен анализ конструкций орудий и приспособлений, предназначенных для поверхностной обработки почвенных пластов при вспашке оборотными плугами, а также обоснован выбор мест их установки. В результате моделирования процесса движения почвенного пласта по поверхностям корпуса плуга и схода с него получены математические модели, позволяющие определить дальность полета почвенных частиц и обосновать параметры установки дополнительных почвообрабатывающих устройств на раме плуга.

Издание предназначено для научных работников, конструкторов сельскохозяйственных машин, специалистов АПК, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов.

Племенная работа, организация воспроизводства и полноценного кормления в молочном скотоводстве / Н.С. Яковчик [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2021. – 364 с.

Монография содержит результаты научных исследований и разработок по племенной работе, организации воспроизводства и полноценному кормлению в молочном скотоводстве.

Системно изложены проблемы совершенствования кормовой базы как важнейшего фактора высокой продуктивности и сохранения здоровья животных. Выработаны рекомендации по кормлению скота различных половозрастных групп.

Будет полезна научным работникам, преподавателям, аспирантам и студентам учреждений образования аграрного профиля, руководителям и специалистам сельскохозяйственных организаций.

АГРОПАНОРАМА 1 (149) февраль 2022

Издается с апреля1997 г.

Научно-технический журнал
для работников
агропромышленного комплекса.
Зарегистрирован в Министерстве
информации Республики Беларусь
21 апреля 2010 года.
Регистрационный номер 1324

Учредитель
Белорусский государственный
аграрный технический университет

Главный редактор
Николай Николаевич Романюк

Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

Г.И. Гануш
Л.С. Герасимович
Е.П. Забелло
П.П. Казакевич
А.Н. Карташевич
И.П. Козловская
И.С. Крук
А.С. Сайганов
В.Н. Тимошенко
Н.К. Толочко
В.П. Чеботарёв
Н.С. Яковчик

Е.В. Сенчуров – ответственный секретарь
Н.И. Цындрина – редактор

Компьютерная верстка
В.Г. Леван

Адрес редакции:
БГАТУ, пр-т Независимости, 99/1, к. 220
220023, г. Минск, Республика Беларусь,
Тел. (+375 17) 272-47-71
Тел./факс (+375 17) 258-41-16

Прием статей и работа с авторами:
г. Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608
Тел. (+375 17) 385-91-02, 355-22-14
E-mail: AgroP@bsatu.by

БГАТУ, 2022.
Формат издания 60 х 84 1/8.
Подписано в печать с готового оригинала-макета 23.02.2022 г. Зак. № 135 от 22.02.2022 г.
Дата выхода в свет 28.02.2022 г.
Печать офсетная. Тираж 100 экз.
Статьи рецензируются.
Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск, пр-т Независимости, 99/2
ЛП № 023330/316 от 30.10.2020 г.
Выходит один раз в два месяца.
Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.
Стоимость подписки на журнал на 1-е п/г 2022 г.:
для индивидуальных подписчиков - 34,92 руб.;
ведомственная - 36,72 руб.;
Цена журнала в киоске БГАТУ - 10,20 руб.

При перепечатке или использовании публикаций согласование с редакцией и ссылка на журнал обязательны.
Ответственность за достоверность рекламных материалов несет рекламодатель.

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

Н.К. Толочко, П.В. Авраменко, В.Б. Кравцов, Д.И. Копчик
Проблема ступенчатого рельефа при изготовлении шестерен по аддитивной технологии листового ламинирования.....2

Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев, В.В. Шабуня
Интенсификация процесса резания при магнитно-абразивной обработке концентрацией магнитного поля.....8

С.В. Курзенков, В.А. Левчук, М.В. Цайц
Обоснование скорости зажимного транспортера обмолачивающего устройства линии первичной переработки льна.....14

Ю.В. Чигарев, И.С. Крук, Ф.И. Назаров, Н.Л. Ракова, А.С. Воробей
К оценке напряженного состояния на стенках поры.....20

Энергетика. Транспорт

А.И. Зеленькевич
Исследования параллельной работы трансформаторов с различными схемами соединения обмоток с силовым трансформатором со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при несимметричном и нелинейном характере нагрузки 25

М.А. Прищепов, А.И. Зеленькевич, В.М. Збродыга
Экономическая оценка эффективности снижения несинусоидальности и несимметрии напряжений применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом».....31

Технический сервис в АПК. Экономика

Т.А. Тетеринец, Д.А. Чиж
Методический подход к оценке социально-экономических потерь устойчивого развития регионов Беларуси.....37

Н.В. Киреенко, Л.М. Павлович
Оценка проявления рисков в сельском хозяйстве Республики Беларусь.....42

УДК 621.77.04

ПРОБЛЕМА СТУПЕНЧАТОГО РЕЛЬЕФА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ШЕСТЕРЕН ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЛИСТОВОГО ЛАМИНИРОВАНИЯ

Н.К. Толочко,
профессор каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, докт. ф.-м. наук, профессор

П.В. Авраменко,
зав. каф. инженерной графики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.Б. Кравцов,
ассистент каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ

Д.И. Копчик,
студент агромеханического факультета БГАТУ

В статье обсуждены пути решения проблемы ступенчатого рельефа поверхности при изготовлении различных типов шестерен по аддитивной технологии листового ламинирования. Рассмотрены особенности изготовления металлических цилиндрических прямозубых шестерен с использованием этой технологии, реализуемой по схеме «резка–пакетирование–соединение».

Ключевые слова: металлическая шестерня, ступенчатый рельеф поверхности, аддитивная технология, листовое ламинирование.

The ways of solving the problem of stepped surface relief in manufacturing various types of gears using additive technology of sheet lamination are discussed. The features of manufacturing the metal cylindrical spur gears using this technology realized by «cut–stack–joint» scheme are considered.

Key words: metal gear, stepped surface relief, additive technology, sheet lamination.

Введение

В последние годы аддитивные технологии получают все большее распространение при изготовлении различных изделий. Особенно перспективно с их помощью изготавливать детали машин, в частности, детали для сельскохозяйственной техники [1, 2]. Принципиальным недостатком аддитивных технологий, сдерживающим их широкое применение, является формирование ступенчатого рельефа наклонных и криволинейных поверхностей изделий, что обусловлено присущим этим технологиям послойным характером построения изделий [3]. Обычно ступенчатый рельеф рассматривается как нежелательное явление, свидетельствующее о низком качестве изготовления изделий.

Традиционно применяют два основных пути решения проблемы ступенчатого рельефа при аддитивном изготовлении изделий [3]. Первый путь состоит в снижении ступенчатого рельефа в процессе аддитивного изготовления изделий за счет уменьшения толщины наносимых слоев строительного материала. Однако это ведет к увеличению количества слоев и, следовательно, к росту продолжительности и себестоимости изготовления изделий. Второй путь состоит в снижении или полном удалении ступенчатого рельефа изготовленных изделий в результате специальной постобработки поверхности: фрезерования, шлифования, полирования, дробеструйной и пескоструйной обработки, лазерного оплавлениия и т.п., что также вызывает рост продолжительности и себестоимости изготовления изделий.

Проблема снижения ступенчатого рельефа особенно остро проявляется при изготовлении металлических изделий по аддитивной технологии листового ламинирования (Sheet Lamination, SL), реализуемой по схеме «резка – пакетирование – соединение» («cut – stack – bond», CSB) [4].

Согласно SL-CSB технологии, сначала из металлических листов вырезают выкройки определенной конфигурации с помощью лазера или фрезы, затем эти выкройки пакетируют и соединяют между собой разными способами: стягиванием болтами, склеиванием, пайкой, сваркой. Отличительная особенность SL-CSB технологии состоит в том, что толщина металлических листов, используемых при построении, может быть довольно большой. Например, она может доходить до нескольких миллиметров, в то время как для других схем реализации SL технологии, как, впрочем, и для других видов аддитивных технологий, максимальные толщины наращиваемых слоев материала, как правило, существенно ограничены. Это означает, что в случае использования SL-CSB технологии, имеются принципиальные возможности значительно повысить эффективность изготовления изде-

лий благодаря уменьшению количества слоев и, соответственно, увеличению их толщины [4]. Однако, как отмечалось выше, увеличение толщины слоев ведет к более грубому ступенчатому рельефу поверхности изделий, что обычно считается нежелательным.

Для решения проблемы ступенчатого рельефа при изготовлении изделий по SL-CSB технологии, кроме отмеченных выше двух основных путей, можно выделить, по крайней мере, четыре дополнительных пути.

Первый из них состоит в использовании специальных конструкторско-технологических приемов предотвращения негативного влияния ступенчатого рельефа, обусловленного аддитивным построением, на функциональные свойства изделий. Так, недавно предложен способ, позволяющий предотвращать это влияние с помощью защитных прокладок, однако этот способ пригоден лишь для немногих видов изготавливаемых изделий, в частности, для штамповой оснастки [5].

Особый практический интерес представляют три других пути. Их суть заключатся в целенаправленном подборе различных типов изделий, для которых формирование ступенчатого рельефа при изготовлении по SL-CSB технологии 1) может быть в принципе исключено в силу конструктивных особенностей изделий, 2) является допустимым при определенных ограничениях условий эксплуатации изделий, либо 3) является в принципе некритичным, т.е. вполне допустимым, не ухудшающим работу изделий с учетом их основного функционального назначения.

Данная статья посвящена краткому рассмотрению этих трех путей решения проблемы ступенчатого рельефа на примере применения SL-CSB технологии для изготовления металлических шестерен.

Основная часть

Конструктивно-технологические аспекты SL-CSB изготовления шестерен

Проблема ступенчатого рельефа, присущая SL-CSB технологии, может проявляться различным образом в зависимости от типа изготавливаемых шестерен. На рисунке 1 в качестве примера представлены шестерни трех разных конструктивных вариантов: цилиндрическая прямозубая, цилиндрическая косозубая и коническая прямозубая. В верхней части рисунка показан внешний вид шестерен, изготовленных по традиционной технологии металлообработки (шестерни имеют цельную структуру), в нижней части – упрощенные схемы этих же шестерен, изготовленных по SL-CSB технологии (шестерни имеют слоистую структуру). Там же отдельно выделены увеличенные изображения фрагментов шестерен со ступенчатым рельефом.

Рассмотрим особенности конструкции шестерен, обусловленные их изготовлением по SL-CSB технологии.

Цилиндрическая прямозубая шестерня, полученная по SL-CSB технологии (рис. 1 г), состоит из набора одинаковых листовых выкроек, которые по форме совпадают с самой шестерней, отличаясь от нее лишь толщиной h, равной толщине исходного раскраиваемо-

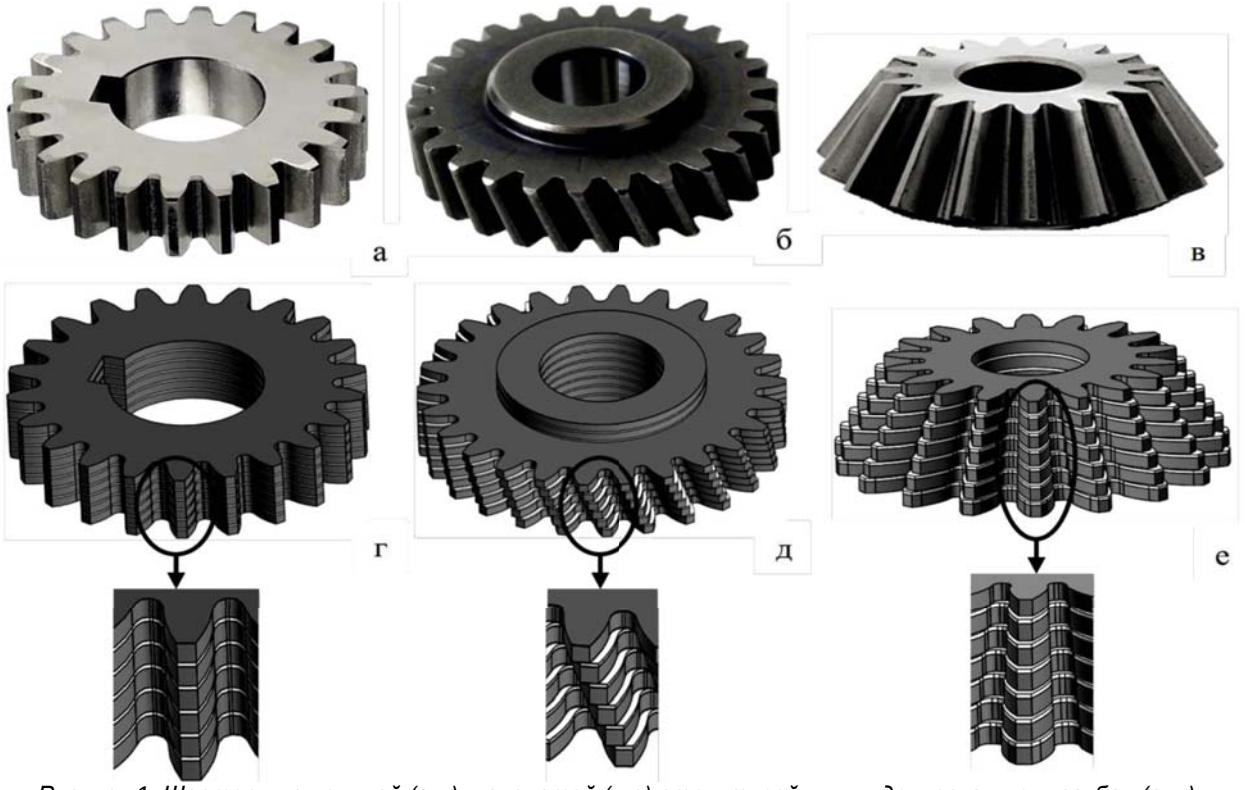


Рисунок 1. Шестерни с цельной (а-в) и слоистой (г-е) структурой; цилиндрическая прямозубая (а, г); цилиндрическая косозубая (б, д); коническая прямозубая (в, е)

го листа металла, что значительно меньше толщины *H* шестерни. Все выкройки, собранные в пакет, совмещаются друг с другом. При этом зубья полученной таким способом шестерни имеют гладкие рабочие (боковые) поверхности, как и в аналогичной шестерне, полученной по традиционной технологии.

Итак, цилиндрическая прямозубая шестерня, изготовленная по SL-CSB технологии, практически полностью соответствует по геометрическим характеристикам своему традиционному аналогу (рис. 1а). Как следствие, она соответствует ему и по функциональным свойствам, при условии, что обладает требуемой прочностью.

Цилиндрическая косозубая шестерня, полученная по SL-CSB технологии (рис. 1д), состоит из набора листовых выкроек, совпадающих по форме с самой шестерней, как и в случае с рассмотренной выше цилиндрической прямозубой шестерней. В процессе пакетирования смежные выкройки смещаются относительно друг друга, так что каждая очередная выкройка поворачивается вокруг продольной оси на некоторый угол. При этом рабочие поверхности зубьев шестерни, будучи расположенными под углом к плоскости ее основания, приобретают ступенчатый рельеф.

Коническая прямозубая шестерня, полученная по SL-CSB технологии (рис. 1е), состоит из выкроек, подобных по форме самой шестерне, но имеющих разный наружный диаметр, а также разную высоту и толщину зубьев, причем все эти размеры изменяются на определенный шаг. В процессе пакетирования выкройки накладываются друг на друга таким образом, что у каждой следующей выкройки ее диаметр, а также высота и толщина зубьев меньше, чем у предыдущей (нижележащей) выкройки. Кроме того, выкройки совмещаются друг с другом центральными отверстиями, а также другими конструктивными элементами (при их наличии), например, шпоночными пазами. При этом рабочие поверхности зубьев шестерни, будучи расположенными под углом к плоскости основания шестерни, приобретают ступенчатый рельеф (по аналогии с рассмотренной выше цилиндрической косозубой шестерней). Кроме того, ступенчатый рельеф приобретают вершины зубьев и впадины между зубьями, поскольку они также расположены под углом к плоскости основания шестерни.

Итак, и цилиндрические косозубые шестерни, и конические прямозубые шестерни, полученные по SL-CSB технологии, имеют поверхности со ступенчатым рельефом в отличие от цилиндрических прямозубых шестерен, полученных по этой же технологии. Поэтому вопрос о возможном влиянии ступенчатого рельефа этих двух типов шестерен на их функциональные свойства требует специального рассмотрения.

Ступенчатый рельеф может формироваться на поверхности шестерни по одному из двух вариантов [3]:

1) ступеньки рельефа располагаются в пределах соответствующей CAD-поверхности, определяемой для проектируемой шестерни (рис. 2а, в);

2) за пределами CAD-поверхности (рис. 2б, г).

В первом варианте высота ступенчатого рельефа $h_р$ представляет собой расстояние от CAD-поверхности до вершин внутренних углов ступенек (впадины рельефа), а во втором – расстояние от CAD-поверхности до вершин внешних углов ступенек (выступы рельефа).

В обоих вариантах параметр $h_р$ принимает численное значение, рассчитываемое по формуле:

$$h_p = h\cos\alpha\,, \qquad (1)$$

где h – высота ступеньки рельефа, равная толщине листовой выкройки;

α – угол наклона CAD-поверхности к плоскости листовой выкройки (рис. 2) [3].

Надежность шестерен определяется прочностными свойствами зубьев и условиями их нагружения при ра-

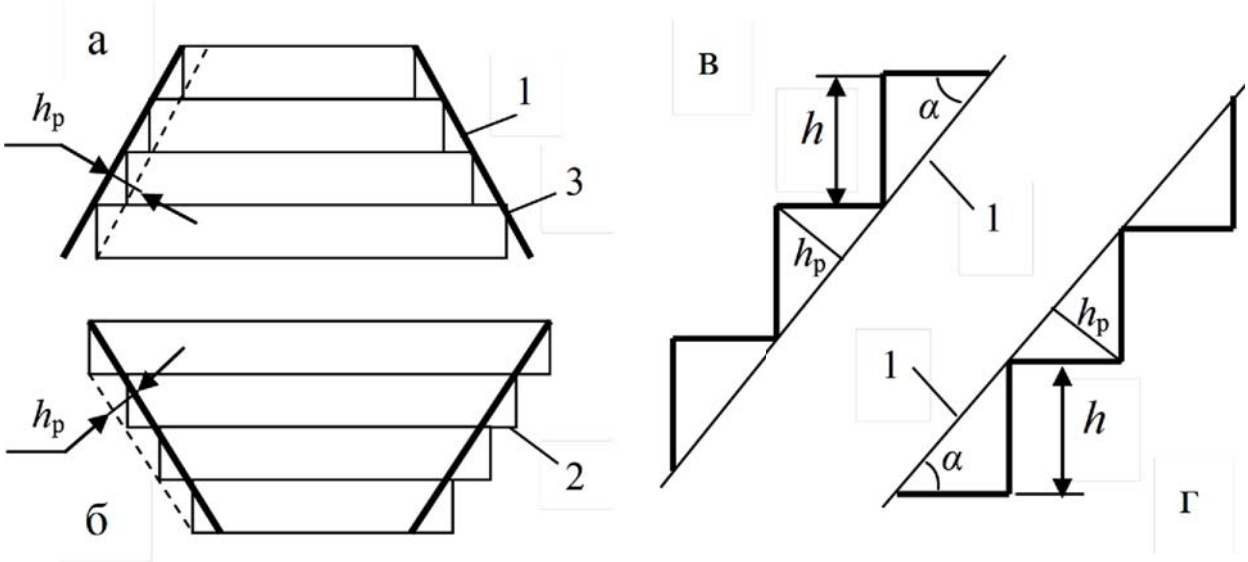


Рисунок 2. Варианты формирования ступенчатого рельефа на поверхности шестерни: вариант 1 (а, в) и вариант 2 (б, г); 1 – CAD-поверхность спроектированной шестерни; 2 – ступенчатый рельеф изготовленной шестерни; 3 – листовые выкройки (наращиваемые слои)

боте зубчатой передачи. Основные нагрузки воспринимает рабочая поверхность зубьев, которая может подвергаться различным повреждениям: изнашиванию, выкрашиванию и др. [6]. Возникновению этих повреждений способствует повышение контактного давления, которое резко возрастает при наличии неровностей на рабочей поверхности зубьев. Ярким проявлением таких неровностей является ступенчатый рельеф, который формируется на рабочей поверхности зубьев цилиндрических косозубых шестерен и конических прямозубых шестерен при их изготовлении по SL-CSB технологии. Данное обстоятельство накладывает ограничения на применение таких шестерен, которые, по-видимому, могут работать в основном в неответственных, слабонагруженных зубчатых передачах.

По-иному встает вопрос о роли ступенчатого рельефа, который формируется при изготовлении конических прямозубых шестерен по SL-CSB технологии, но не на рабочей поверхности зубьев (как это рассматривалось выше), а на вершинах зубьев и во впадинах между зубьями.

В отличие от рабочей поверхности зубьев, которая при работе зубчатой передачи может подвергаться значительным силовым нагрузкам, вызывающим разрушение зубьев, на вершинах зубьев и во впадинах между зубьями эти нагрузки могут быть в принципе некритичными. Это связано с наличием радиального зазора в зубчатой передаче, величина которого обычно задается при проектировании зубчатой передачи и соответствует расстоянию между окружностью вершин зубьев одной конической шестерни и окружностью впадин, сопряженной с ней другой конической шестерни [7]. Очевидно, что, проектируя зубчатую передачу с использованием конических шестерен, изготовленных по SL-CSB технологии, следует учитывать возможные соотношения между величиной радиального зазора и высотой ступенчатого рельефа на вершинах зубьев и во впадинах между зубьями.

При необходимости, с учетом требований, предъявляемых к конструкции, и условиям эксплуатации шестерен, изготовленных по SL-CSB технологии, высота ступенчатого рельефа может быть уменьшена согласно выражению (1) за счет использования выкроек, вырезанных из более тонких листовых металлов. Также ступенчатый рельеф может быть сглажен или полностью удален с помощью различных способов постобработки поверхности, о чем упоминалось выше.

Особенности SL-CSB изготовления металлических цилиндрических прямозубых шестерен

Методика изготовления шестерен была следующей. Листовой металл (сталь Ст3) с толщиной листа h_1 = 2 мм и h_2 = 0,5 мм подвергали контурному раскрою с помощью лазерного станка Laser CUT-1515-6-2-N-RT (ООО «Рухсервомотор», РБ), в результате чего получали комплекты выкроек в форме шестерен соответствующей толщины (рис. 2). Выкройки пакетировали и соединяли между собой с помощью клея «Konekt». Таким способом получали цилиндрические прямозубые шестерни, составленные из толстых, либо тонких выкроек.

На рисунке 3 в качестве примера показаны полученные лазером листовые выкройки для изготовления шестерен с разным по форме профилем зубьев (толщина листа h = 2 мм, диаметр вершин зубьев d_a=60 мм).

На рисунке 4 показаны образцы листовых выкроек разной толщины и изготовленные из них шестерни с эвольвентным профилем зубьев (толщина листа h_1 = 2 мм и h_2 = 0,5 мм, диаметр вершин зубьев d_a=50 мм).

Измерения толщины полученных шестерен каждого вида $H_{к1}$ и $H_{к2}$ показали, что она больше суммарной толщины составляющих их выкроек:

$$H_{к1} > H_1 \text{ и } H_{к2} > H_2,$$

где $H_1 = n_1 h_1$ и $H_2 = n_2 h_2$;

n_1 и n_2 – количество выкроек в шестернях каждого вида.

Увеличение толщины пакета выкроек после их склеивания обусловлено наличием клеевых прослоек между выкройками, толщину которых можно определить по формуле:

$$h_к = \frac{H_к - H}{n-1},$$

используя данные, представленные в табл. 1.

а б в

Рисунок 3. Листовые выкройки из стали Ст3 для изготовления шестерен с разным по форме профилем зубьев: эвольвентным (а); круговым (б); циклоидальным (в)
Толщина листа – 2 мм. Наружный диаметр шестерен – 60 мм.

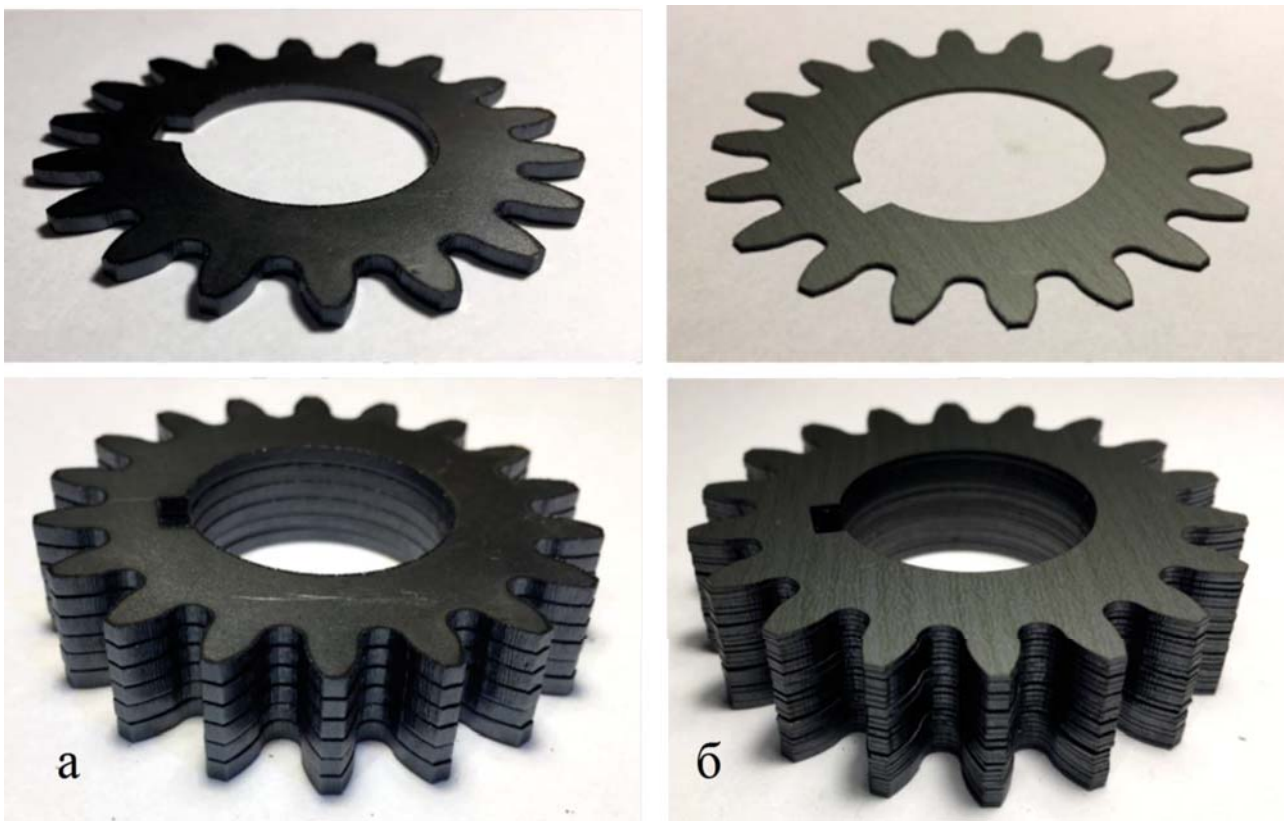


Рисунок 4. Листовые выкройки и изготовленные из них шестерни. Толщина листа (h) и количество выкроек (n): h_1 = 2 мм и n_1 = 6 шт. (а); h_2 = 0,5 мм и n_2 = 24 шт. (б). Наружный диаметр шестерен – 50 мм

Таблица 1. Данные для расчета толщины клеевых прослоек $h_к$

h_1, мм	n_1, шт.	H_1, мм	$H_{к1}$, мм	h_2, мм	n_2, шт	H_2, мм	$H_{к2}$, мм
0,5	24	12	13,2	2,0	6	12	12,25

Как показали вычисления, $h_к \approx 0{,}05$ мм для обоих видов шестерен. Указанная толщина клеевых прослоек является типичной при создании многослойных структур с использованием разных видов клеев [8, 9]. В частности, с помощью SL-технологии изготавливали изделия из стальных листов толщиной 0,12 мм, которые пакетировали и соединяли двухсторонней клейкой пленкой марки Scotch 3M 467MP, толщиной 50 мкм [10, 11]. Толщину клеевых прослоек следует учитывать при проектировании шестерен, получаемых по SL-CSB технологии.

Заключение

Традиционные технологии изготовления шестерен являются довольно сложными и дорогостоящими, для их реализации требуются специальные зуборезные станки и инструменты. Поэтому в последние годы все больше внимания уделяется изготовлению полимерных и металлических шестерен с помощью различных аддитивный технологий: Fused Deposition Modeling (FDM), Steriolithography Apparatus (SLA), Multi-Jet Modeling (MJM), Binder Jetting (BJ), Selective Laser Sintering (SLS), Electron beam melting (EBM) [12]. Среди них особое место занимает SL-CSB технология, которая является одной из немногих аддитивных технологий, позволяющих создавать изделия непосредственно из металла, и к тому же характеризуется сравнительно высокой экономической эффективностью, благодаря тому, что изделия создаются путем последовательного наращивания готовых слоев металла требуемой конфигурации [4].

Вместе с тем SL-CSB технология пока еще далека от своего совершенства, из-за чего сдерживается ее применение для изготовления широкого круга металлических изделий различного назначения.

В данной статье на примере изготовления шестерен были рассмотрены некоторые возможные пути решения проблемы ступенчатого рельефа, формирующегося при изготовлении изделий по данной технологии. Для окончательного решения этой проблемы требуются дополнительные исследования.

К другим проблемам, связанным с дальнейшим развитием SL-CSB технологии и требующим первоочередного решения, относятся:

– автоматизация работ по пакетированию и соединению между собой листовых выкроек;

– повышение надежности клеевых (или других) соединений листовых выкроек с учетом условий экс-

плуатации, прежде всего, повышение их механической прочности;

– совершенствование конструкции изделий на этапе проектирования, в частности, на основе методов топологической оптимизации, с учетом уникальных возможностей реализации этих конструкции, которые предоставляет аддитивное производство изделий [2].

Очевидно, что SL-CSB технология не может полностью заменить традиционные технологии изготовления изделий. Поэтому ее, как, впрочем, и другие аддитивные технологии, наиболее эффективно использовать в сочетании с традиционными технологиями. Так, в рассмотренном в данной статье случае изготовления шестерен, наряду с SL-CSB технологией, обеспечивающей создание тела шестерни, могут быть задействованы известные технологии снятия фасок с зубьев шестерни [13].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Толочко, Н.К. Аддитивное производство деталей сельскохозяйственных машин / Н.К. Толочко, Н.Н. Романюк, П.В. Авраменко, О.В. Сокол // Исследования, результаты (Алматы). – 2020. – № 4. – С. 335-344.

2. Проектирование и аддитивное производство деталей машин / Н.К. Толочко [и др.] // Агропанорама. – 2020. – №4. – С. 2-7.

3. Толочко, Н.К. Аддитивные технологии: проблема ступенчатого рельефа поверхности / Н.К. Толочко, О.В. Сокол // Агропанорама. – 2019. – № 2. – С. 12-16.

4. Толочко, Н.К. Методологические аспекты оценки эффективности аддитивной технологии листового ламинирования / Н.К. Толочко, О.В. Сокол // Вестник машиностроения. – 2020. – № 10. – С.11-15.

5. Штамп для листовой штамповки: пат. BY 23392 / Н. К. Толочко, Н.Н. Романюк, О.В. Сокол. – Опубл. 28.02.2021.

6. Колеса зубчатые. Виды повреждений. Классификация и описание: ГОСТ РБ 31381-2009. – Введ. 25.06.2009. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь. – 72 с.

7. Передачи зубчатые конические. Термины, определения и обозначения: ГОСТ 19325-1973. – Введ. 01.01.1975. – Москва: Изд-во стандартов, 1992 – 89 с.

8. Kuhtz, M. An experimental study on the bending response of multi-layered fibre-metal-laminates / M. Kuhtz [et al] // J. Composite Materials. – 2019. – Vol. 53. – P. 2579-2591.

9. Nia, A.B. Failure of Glass Fibre-Reinforced Polypropylene Metal Laminate Subjected to Close-Range Explosion / A.B. Nia [et al] // Polymers. – 2020. – Vol. 12. – Iss. 9. – 14 pp.

10. Zak, G. Adhesive Bonding of Sheet for Laminated Metal Tooling / G. Zak, W. Wang // Proc. Solid Freeform Fabrication Symp., Austin, Texas, USA, 2002. – P. 502-509.

11. 3M™ 467MP Клеепереносящая лента, прозрачная, 610 мм x 55 м. [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://www.3m.com.by/3M/ru_BY/p/d/v000192506/. – Дата доступа: 12.12.2021.

12. 3D печать шестеренок: перспективный процесс и альтернатива сервисному обслуживанию механизмов [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: https://3dlbl.ru/stati/3d-pechat-shesterenok/. – Дата доступа: 19.12.2021.

13. Кондрашов, А.Г. Повышение качества обработки фасок на торцах зубьев зубчатых колес на основе проектирования зубофасочного инструмента: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.03.01 / А.Г. Кондрашев; Камская государственная инженерно-экономическая академия (ИНЭКА). – Набережные Челны, 2008. – 23 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.01.2022

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.

Стоимость подписки на 1-е полугодие 2022 года: для индивидуальных подписчиков - 34,92 руб., ведомственная подписка - 36,72 руб.

УДК 621.923

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Л.М. Акулович,
профессор каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Л.Е. Сергеев,
доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.В. Шабуня,
ассистент каф. технологии металлов БГАТУ

Показано влияние градиента магнитной индукции на стружкообразование при магнитно-абразивной обработке. Приведен расчет величины сил, действующих на ферроабразивное зерно в направлении градиента магнитной индукции. Предложено на поверхностях полюсных наконечников создавать концентраторы магнитного потока, позволяющие изменять величину и направление градиента магнитной индукции.

Ключевые слова: финишная обработка, магнитно-абразивная обработка (МАО), стружкообразование, ферроабразивное зерно, ферроабразивный порошок (ФАП), градиент магнитной индукции.

The effect of magnetic induction gradient on chip formation during magnetic abrasive treatment is shown. The calculation of the magnitude of the forces acting on the ferroabrasive grain in the direction of the magnetic induction gradient is given. It is proposed to create magnetic flux concentrators on the surfaces of pole tips, which allows changing the magnitude and direction of the magnetic induction gradient.

Key words: finishing, magnetic abrasive treatment (MAO), chip formation, ferro abrasive grain, ferroabrasive powder (FAP), magnetic induction gradient.

Введение

В технологических процессах изготовления деталей машин эксплуатационные свойства рабочих поверхностей формируются, как правило, на финишных операциях. Финишной обработке подвергается до 80 % всех деталей машин, а ее удельная трудоемкость составляет 20-45 % от общей трудоемкости машиностроительного производства [1]. Финишная обработка, включающая механические, физические, химические и комбинированные способы обработки поверхностей, является эффективным методом получения изделий требуемого качества поверхности. Поэтому их развитие представляет важный резерв машиностроения.

В машиностроении применяются различные методы формообразования поверхностей деталей машин с обеспечением заданных параметров их точности и шероховатости для формирования требуемых высоких эксплуатационных свойств, среди которых доминирует абразивная обработка. По виду режущего инструмента существующие способы финишной абразивной обработки можно разделить на обработку жестко-связанным, свободным и подвижно-скоординированным абразивным зерном. Одним из перспективных способов абразивной обработки подвижно-скоординированным зерном является магнитно-абразивная обработка (МАО) [2, 3].

МАО представляет собой избирательное абразивное микрорезание и микровыглаживание. Сущность этого процесса состоит в том, что при сравнительно большой шероховатости поверхности, зерна порошка контактируют первоначально преимущественно с вершинами гребешков, являющихся концентраторами магнитных силовых линий. Каждое зерно порошка в магнитном поле устанавливается наибольшей осью по направлению к обрабатываемой поверхности. При износе и затуплении вершин происходит переориентация элемента порошка таким образом, что вновь образовавшаяся наибольшая ось направляется вдоль магнитных силовых линий. В результате процесс микрорезания производится постоянно обновляющими кромками на протяженнии всего процесса обработки. При МАО происходит непрерывный контакт ферроабразивного порошка (ФАП) с обрабатываемой поверхностью детали, так как отсутствует жесткое крепление абразивного зерна в связке, что способствует самопроизвольному нивелированию режущего инструмента относительно формы обрабатываемой поверхности. Все это позволяет управлять жесткостью режущего инструмента, с целью повышения производительности обработки и повышения качества обработанной поверхности (шероховатость поверхности Ra = 0,1-0,2 мкм). Однако интенсивное резание при МАО происходит в первые 15…30 с., а затем наблюдается его «затухание». Это

связано с тем, что в процессе обработки происходит износ и затупление ферроабразивного зерна, что приводит к уплотнению ФАП в рабочем зазоре, и вследствие этого снижается его режущая способность.

Поэтому целью данного исследования является поиск методов интенсификации процесса МАО.

Основная часть

В теории абразивного резания установлено [4], что стружкообразование возможно при определенном соотношении между глубиной h внедрения режущих вершин зерен абразивного инструмента в обрабатываемую поверхность и радиусов округления ρ этих вершин. Локальные контакты единичных зерен с неровностями обрабатываемой поверхности должны заканчиваться следующими событиями: 1) упругой деформацией; 2) пластической деформацией; 3) деформацией сдвига (микрорезание, снятие стружки).

И. В. Крагельским [5] установлено граничное условие перехода пластического деформирования в микрорезание:

$$h = 0{,}5\rho(1 - \frac{2\tau}{\sigma_s}), \quad (1)$$

где τ – прочность на срез адгезионной связи, МПа;

σ_s – предел текучести, МПа.

Микрорезание абразивными зернами пластичных металлов со снятием стружки возможно при значениях отрицательных передних углов γ не более 45°, чему соответствует отношение [6]:

$$k = \frac{a_z}{\rho} \approx 0{,}5, \quad (2)$$

где a_z – толщина среза;

ρ – радиус округления вершин зерна.

При k < 0,5 наблюдается пластическое деформирование металла или даже скольжение зерен по металлу, т.е. имеет место процесс микровыглаживания поверхности. При k > 0,5 происходит процесс микрорезания, причем при k = 1,0 микрорезание обеспечивается стабильно во всех случаях. От пластичности металла зависит степень его деформации при абразивной обработке.

Установлено [7], что форма стружки, образующейся при МАО аналогична форме стружки при шлифовании. Соотношение длины стружки (l) и ее толщины (a) находится в пределах l/a = 5-20. Однако при одинаковых размерах радиусы кривизны стружек при МАО меньше, чем у стружек, полученных при шлифовании. Это косвенно свидетельствует о более высокой степени пластических деформаций диспергируемого металла в процессе МАО. Процесс МАО сталей в отличие от шлифования происходит в пределах h/ρ < 0,005-0,13, следовательно, стружкообразование при МАО происходит при более неблагоприятных условиях. Благодаря этому, пластические деформации обрабатываемой поверхности и стружкообразование могут происходить при меньших значениях действующих сил.

Для определения коэффициентов стружкообразования и навалов проведены экспериментальные исследования и использована установка с программно-аппаратным комплексом, которая приспособлена для нанесения царапин зернистостью Δ = 160/125 мкм на поверхность исследуемого металла (рис. 1). В процессе работы с помощью датчиков производили измерения радиальной и тангенциальной составляющих силы резания. С использованием специальной платы аналого-цифрового преобразователя в компьютер передается информация, поступающая от датчиков.

Поверхности образцов предварительно полировали до шероховатости по параметру Ra < 0,05 мкм для последующего качественного измерения глубины царапины и высоты навалов. В процессе исследований применяли нагрузки, действующие на ФАП в процессе МАО, выбранные на основании исследований, проведенных Ф.Ю. Сакулевичем, В.И. Ждановичем и др. [3]. Определен диапазон сил, с которыми зерно действует на поверхность обрабатываемой детали при МАО, равный $(0{,}5\text{-}16)\cdot10^{-3}$Н. При этом определяли размеры: b – ширина, h – максимальная глубина царапины, $b_{н1}$ и $b_{н2}$, $t_{н1}$ и $t_{н2}$ – соответственно ширина и высота правого и левого навалов. Скорость принималась v = 0,5 м/с при многоразовых циклических проходах. Исследуемый материал – Ст. 3 ГОСТ 380-71.

В результате проведенных исследований установ-

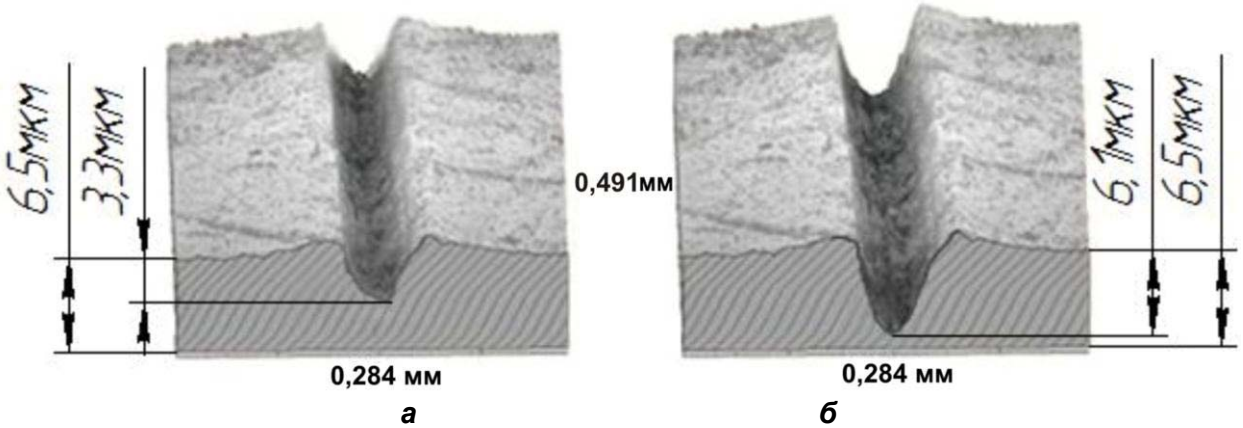


Рисунок 1. 3D-модели царапин поверхности: без (а) и с (б) – использованием магнитного поля

лено, что процесс удаления металла выступами микрорельефа поверхности зерен имеет место практически при любой глубине микрорезания, определяемой десятыми и сотыми долями микрометра. Исследования показали, что высота навалов меньше, чем глубина царапин, т. е. основной объем металла (60-75 %), вытесняемый зерном, переходит в микростружку.

В результате проведенного анализа и исследования процесса микрорезания единичным зерном ферромагнитного материала при наложении магнитного поля установлено, что глубина царапины в 1,5-1,6 раза больше, чем при отсутствии магнитного поля. Объяснением полученных результатов является проникновение электромагнитных полей в тонкий поверхностный слой ФАП и возникновение теплового эффекта, который способствует пластической деформации материала [8].

Вместе с тем, на процесс снятия стружки при МАО оказывает влияние величина сил, действующих на ФАП. Величина этих сил зависит от градиента магнитной индукции $grad|\vec{B}|$ и величины микротоков, образующихся в ферроабразивном зерне в процессе МАО [9]:

$$\overrightarrow{F_м} = \frac{1}{\mu_a} VBgrad|\vec{B}|,$$

где V – объем ферроабразивного зерна, м^3;

μ_a – магнитная проницаемость материала ферроабразивного зерна, Гн/м;

B – магнитная индукция в точке зазора, где расположено ФАП, Тл;

$grad|\vec{B}|$ – вектор градиента магнитной индукции в рассматриваемой точке рабочего зазора, Тл/м.

В зерне ФАП, находящейся в магнитном поле зазора, происходит ориентация молекулярных токов, направление которых таково, что созданные ими магнитные поля совпадают с направлением внешнего магнитного поля и усиливают его. В толще зерна молекулярные токи направлены в противоположные стороны и создаваемые ими магнитные поля взаимно компенсируются. Поэтому учитывать будем только магнитные поля, возникающие от молекулярных токов, текущих по поверхности зерна. Рассмотрим действие в направлении нормали к обрабатываемой поверхности сил магнитного поля на ферроабразивное зерно, находящееся в рабочем зазоре при обработке наружных цилиндрических поверхностей. Магнитное поле в рабочем зазоре неоднородно, вектор его индукции можно разложить на две составляющие $\bar{B}'$ и $\bar{B}''$ (рис. 2*а*).

Мысленно рассечем зерно плоскостями, перпендикулярными наибольшей оси, на множество элементарных участков и рассмотрим один из них. Поскольку по его периферии течет молекулярный ток, то поведение элементарного участка в магнитном поле зазора можно уподобить поведению контура проводника с током в неоднородном магнитном поле. Под действием индукции $\bar{B}''$ возникают радиальные силы, действующие по периферии участка в плоскости, перпендикулярной направлению магнитных силовых линий. Эти силы взаимно уравновешиваются. Составляющая индукции $\bar{B}'$ вызывает возникновение силы, направленной вдоль вектора $\bar{B}''$. На элементарную длину *dl* периметра рассматриваемого участка действует сила:

$$df = J_м B' dl\,, \qquad (3)$$

где $J_м$ – молекулярный ток по периметру участка, возникший вследствие намагничивания зерна.

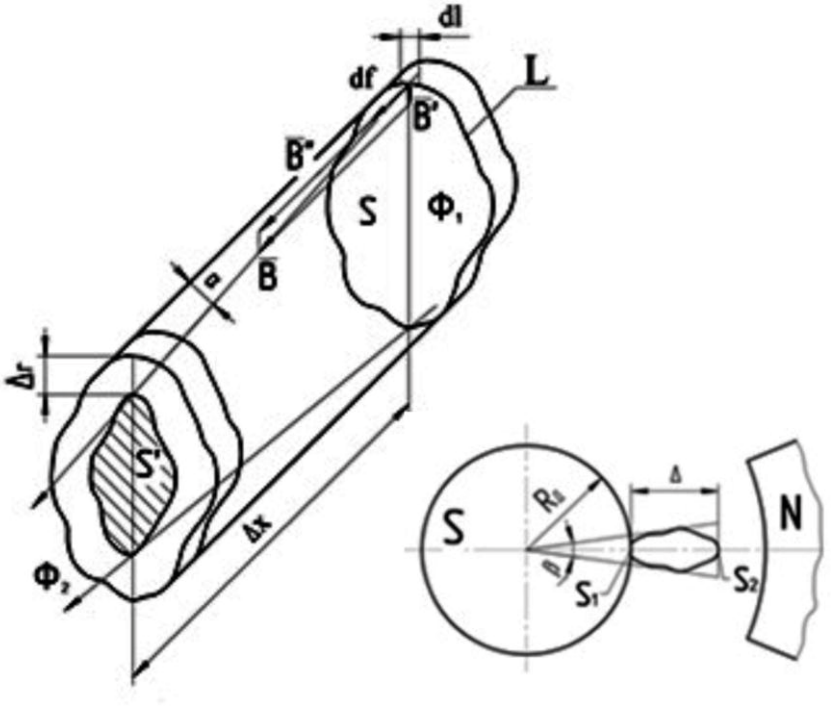
Учитывая, что $B' = Bsin\alpha$ (рис. 2*а*), и интегрируя формулу (3), определим силу *f*, действующую на весь периметр участка *L*:

$$f = J_м Bsin\alpha \int_0^L dl = J_м BL\frac{\Delta r}{\Delta x}\,. \qquad (4)$$

Радиальная сила, действующая на зерно ферроабразивного порошка, находящаяся в неоднородном магнитном поле:

$$f_p = \sum f = P_м \frac{\Delta B}{\Delta x}\,, \qquad (5)$$

где $P_М$ – магнитный момент зерна ферроабразивного порошка.



а *б*

Рисунок 2. Схема расчета сил, действующих на зерно ферроабразивного порошка нормально к поверхности детали: для элементарного участка (а) и на зерно в целом (б).

Определим величину градиента индукции магнитного поля, приняв за Δx наибольший размер зерна порошка – Δ (рис. 2*б*).

Тогда изменение индукции на расстоянии Δx:

$$\Delta B = \frac{\Phi}{S_1} - \frac{\Phi}{S_2}, \quad (6)$$

где Ф – магнитный поток;

S_1 и S_2 – площади сечений.

Так как $S_1 = R_д \beta b$ и $S_2 = (R_д + \Delta)\beta b$ то:

$$\Delta B = \frac{\Phi \Delta}{\beta b R_д (R_д + \Delta)}, \quad (7)$$

где $R_д$ – радиус обрабатываемой поверхности, мм;

b – размер зерна в направлении оси детали (малая ось эллипсоида), мм;

β – угол между радиусами деталей, касательными к наибольшему сечению зерна в плоскости, перпендикулярной оси детали, град.

Тогда

$$\frac{\Delta B}{\Delta x} = \frac{\Phi}{\beta b R_д (R_д + \Delta)}. \quad (8)$$

Магнитный момент зерна порошка в форме эллипсоида вращения:

$$P_m = \frac{4}{3} K H_1 \Delta^2 b, \quad (9)$$

где K – магнитная восприимчивость материала ФАП;

H_1 – напряженность магнитного поля на нижней границе зерна, А/м;

Δ – размер большой оси эллипсоида, направленной вдоль магнитного поля, м.

Подставив (8) и (9) в выражение (7) и учитывая, что $\Phi = B_1 S_1 = \mu H_1 R_д b \beta$, для единичного зерна, получим:

$$f_p = \frac{4}{3} \frac{\mu \Delta^2 b K H_1^2}{R_д + \Delta}, \quad (10)$$

где μ – магнитная проницаемость материала порошка.

Так как образовавшаяся вдоль магнитных силовых линий поля цепочка состоит из нескольких зерен, то на граничащее с обрабатываемой поверхностью зерно будет действовать суммарная сила со стороны всех более удаленных от оси детали зерен:

$$f_ц = \frac{4}{3} \sum_{i=1}^{n} \frac{\mu \Delta_i^2 b_i K H_i^2}{R_i + \Delta_i}, \quad (11)$$

где n – число зерен в цепочке;

R_i – расстояние от начала i-го зерна до оси упрочняемой поверхности;

H_i – напряженность магнитного поля на границе i-го зерна;

Δ_i и b_i – размеры большой и малой осей эллипсоида, описывающего i-е зерна.

Таким образом, ферроабразивные зерна под действием силы $f_ц$ прижимаются к обрабатываемой поверхности, создавая нормальную составляющую усилия резания.

При относительном перемещении ферроабразивных зерен и обрабатываемой поверхности возникает тангенциальная или главная составляющая усилия резания:

$$f_т = f_{N\ пц} \cdot k_{тр}, \quad (12)$$

где $k_{тр}$ – коэффициент трения.

На основе проведенного расчета сил, действующих на ферроабразивное зерно, предложено для интенсификации процесса МАО на поверхностях полюсных наконечников создавать концентраторы магнитного поля по типу, приведенному на рисунке 3. Концентраторы магнитного поля представляют собой вставки, выполненные из немагнитного материала, образуя при этом паз, в котором величина магнитной индукции достигает требуемой величины для удержания ферроабразивных зерен в рабочем зазоре.

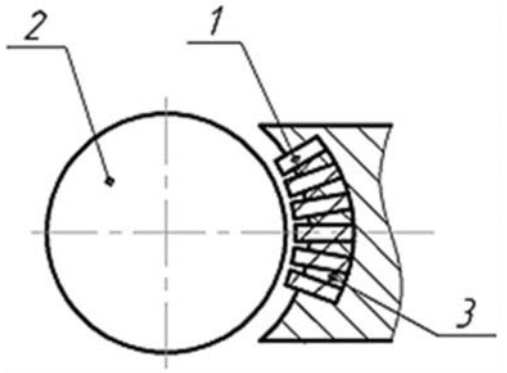


Рисунок 3. Схема конструктивного исполнения полюсного наконечника:
1 – полюсный наконечник; 2 – заготовка;
3 – вставка из немагнитного материала

Применение принципов концентрации магнитного потока позволяет увеличить градиент индукции магнитного поля в рабочем зазоре более чем на 50 %, а процесс ориентированного абразивного резания будет происходить наиболее интенсивно.

Установлено, что пространственное распределение магнитного потока зависит от формы и размеров концентраторов [10]. В работе [11] были изготовлены 16 пар полюсных наконечников и выполнен трехфакторный эксперимент, в котором переменными факторами были количество *i* пазов на рабочей поверхности полюсного наконечника, глубина пазов *h*, отношение ширины паза к ширине выступа *a/b*. Известно, что кромки ферромагнитного тела являются концентраторами магнитного потока и градиент магнитной индукции в ближайшей области направлен к кромке. Каждый из названных факторов варьировали на четырех уровнях в диапазонах: i = 1÷4, h = 5÷20 мм, a/b = 0,5÷2,0.

Экспериментально установлено, что из рассмотренных вариантов концентраторов магнитного потока полюсных наконечников (рис 4*а,б,в*) наименьший съем металла (Q= 0,53 мг/с) и наибольшую шерохо-

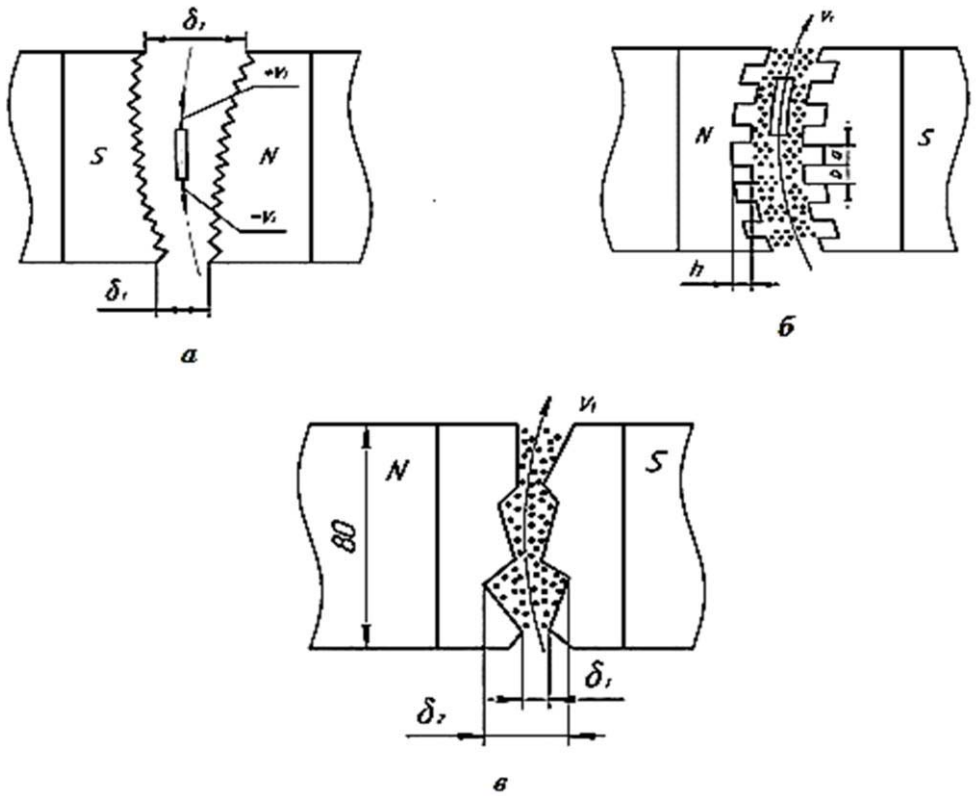


Рисунок 4. Формы концентраторов магнитного потока полюсных наконечников: а – I тип – зубчатая серповидная; б – II тип – шахматная; в – III тип комбинированная; δ – рабочий зазор; h – глубина впадины; a – ширина паза; b – ширина концентратора

ватость поверхности (Ra = 0,4 мкм) обеспечивает полюсный наконечник III типа (комбинированная конфигурация) (рис. 4*в*) по сравнению с полюсными наконечниками I типа, имеющую зубчатую серповидную конфигурацию (рис. 4*а*) и II типа, имеющую шахматную конфигурацию (рис.4*б*). Таким образом, форма рабочего зазора изменяет топографию магнитного поля и пространственное распределение магнитного потока созданием концентраторов магнитного потока, которые до настоящего времени в полной мере не исследовались.

В работе [12] предложены три типа концентраторов магнитного потока. Однако при увеличении силы тока в рабочем зазоре не удается достигнуть значения магнитной индукции, получаемой полюсным наконечником с гладкой рабочей поверхностью. Это связано с тем, что применение графических методов определения топографии электромагнитного поля (ЭМП) в зоне обработки не позволяет провести более строгий анализ динамического и кинематического факторов процесса МАО.

В работе [13] для обеспечения равномерности съема металла с различных участков профиля беговой дорожки подшипника были проведены исследования четырех видов форм полюсного наконечника (эквидистантный, плоский, радиусный с охватом ширины кольца, радиусный с охватом ширины дорожки подшипника). По результатам исследований выявлено, что наиболее оптимальной схемой является использование серповидных полюсных наконечников с радиусным охватом ширины дорожки подшипника, которая обеспечивает равномерный процесс микрорезания по всей периферии беговой дорожки подшипника.

Заключение

В результате проведенных теоретических исследований обосновано, что процесс МАО будет проходить более интенсивно за счет увеличения на 50 % и более градиента магнитной индукции, которое достигается созданием на поверхности полюсных наконечников концентраторов магнитного поля. Рассмотрены различные формы концентраторов магнитного потока полюсных наконечников и выявлены наиболее оптимальные, которые обеспечивают повышение производительности МАО и качества обработанной поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Филонов, И.П. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов / И.П. Филонов, Ф.Ф. Климович, А.С. Козерук. – Минск: Дизайн ПРО, 1995. – 208 с.

2. Коновалов, Е.Г. Чистовая обработка деталей в магнитном поле ферромагнитными порошками /

Е.Г. Коновалов, Г.С. Шулев. – Минск: Наука и техника, 1967. – 125 с.

3. Сакулевич, Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич. – Минск: Наука и техника, 1981. – 326 с.

4. Дечко, Э.М. Резание металлов и режущий инструмент: учеб. пособие / Э.М. Дечко, М.М. Дечко. – Минск: Вышэйшая школа, 2020 – 287с.

5. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

6. Гриб, В.В. Лабораторные испытания материалов на трение и износ / В.В. Гриб, Г.Е. Лазарев. – М.: Наука, 1968. –141 с.

7. Скворчевский, Н.Я. Научные основы повышения эффективности магнитно-абразивной обработки созданием сверхсильных магнитных полей и новых технологических сред: автореф. дис. … докт. техн. наук: 05.02.08; 05.03.01 / Н.Я. Скворчевский; БГПА. – Минск, 1994. – 35 с.

8. Акулович, Л.М. Микрорезание абразивными зернами при магнитно-абразивной обработке / Л.М. Акулович // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2015. – № 3. – С.49-59.

9. Акулович, Л.М. Интенсификация магнитно-абразивной обработки изменением угла наклона частиц ферроабразивного порошка при ориентированном резании / Л.М. Акулович, А.А. Тиунчик, О.Н. Ворошухо // Агропанорама. – 2018. – № 4. – С. 2-9.

10. Исследование герметичной синхронной машины дискового типа / С.В. Леонов [и др.] // Изв. вузов. Электромеханика. – 2006. – № 3. – С. 23-25.

11. Барон, Ю.М. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса абразивной обработки деталей машин в магнитном поле: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.164 / Ю.М. Барон; ЛПИ. – Ленинград, 1969. – 22 с.

12. A.S. Bulatov. Magnetic concentrator from textured Dysprosium, contributed up to 7.6T / A.S. Bulatov, S.I. Goridov, M.A. Tichonovsky and S.I. Novikov // IEEE Transac. Magn. – 1992. – V. 28. – P. 502-504.

13. Акулович, Л.М. Магнитно-абразивная обработка цилиндрических канавок с радиусным профилем / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев, О.Н. Ворошухо // Вестник БарГУ. Серия: технические науки. – 2018. – Вып. 6. – С.20-32.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.02.2022

Навесной оборотный плуг ПНО-3-40/55

Плуг навесной оборотный ПНО-3-40/50 предназначен для гладкой вспашки старопахотных не засоренных камнями почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа. Плуг агрегатируется с тракторами класса 2,0 («Беларус 1221»).

Преимущества разработки:

- регулируемая ширина захвата;
- цена на 30-40% ниже зарубежных аналогов.

Производство плугов освоено на ДП «Минойтовский ремонтный завод».

В 2010 году на сельскохозяйственной выставке в г. Москве плуг удостоен золотой медали.

Основные технические данные

Тип.....навесной
Тип корпуса.....полувинтовой
Производительность за 1 ч сменного времени, га.....0,65…1,14
Конструкционная ширина захвата корпуса, мм.....400/450/500/550
Рабочая скорость движения на основных операциях, км/ч.....7…9
Масса плуга конструкционная, кг….....не более 1150
Конструкционная ширина захвата плуга, м.....1,20/1,35/1,50/1,65

УДК 631.36:633.521

ОБОСНОВАНИЕ СКОРОСТИ ЗАЖИМНОГО ТРАНСПОРТЕРА ОБМОЛАЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА

С.В. Курзенков,
доцент каф. высшей математики и физики БГСХА, канд. техн. наук, доцент

В.А. Левчук,
ст. преподаватель каф. технического сервиса и общеинженерных дисциплин БГСХА

М.В. Цайц,
ст. преподаватель каф. безопасности жизнедеятельности БГСХА, магистр техн. наук

В статье представлен теоретический анализ взаимодействия обмолачивающего устройства с лентой льна. Для повышения качества отделения семенной части от стеблей разработано обмолачивающее устройство, сочетающее очесывающе-плющильное воздействие эластичного органа при взаимодействии с верхушечной частью ленты льна, находящейся в зазоре между сепарирующей решеткой и эластичным зубчатым бичом. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования по определению величины смещения ленты льна за единицу времени, соответствующему времени сжатия и удержания стеблей льна бичом в начале воздействия его на ленту льна, и угла изгиба стебля до начала его разрыва. Полученные результаты позволили установить для конструкции предлагаемого обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом значения предельной величины скорости зажимного транспортера.

Ключевые слова: лен, обмолачивающее устройство, коробочки льна, лента стеблей льна, зажимной транспортер, эластичный бич, траектория движения, разрыв стеблей.

The article presents a theoretical analysis of the interaction of the threshing device with a flax ribbon. To improve the quality of seed separation from the stems, a threshing device has been developed that combines the hatching and flattening effect of an elastic organ while interacting with the apical part of the flax ribbon located in the gap between the separating grate and the elastic toothed whip. A technique has been developed and experimental studies have been carried out to determine the displacement of the flax ribbon per unit of time corresponding to the time of compression and retention of flax stems by a whip at the beginning of its impact on the flax ribbon, and the angle of bending of the stem before its rupture. The results obtained made it possible to establish the design of the proposed threshing device with an elastic working body the values of the maximum speed of the clamping conveyor.

Key words: flax, threshing device, flax boxes, flax stem tape, clamping conveyor, elastic whip, movement trajectory, rupture of stems.

Введение

Обмолот имеет важное значение в комплексе уборочных работ и первичной переработки льна-долгунца, поскольку в зависимости от применяемой технологии может осуществляться как в поле, так и в линии первичной переработки льна Van Dommele или Depoortere. От уровня его совершенства зависит величина урожая, размер потерь, качество льнопродукции, трудоемкость и энергоемкость сушки и обработки льновороха [1-4].

В целях повышения качества отделения семенной части от стеблей в линии первичной переработки в УО БГСХА разработано обмолачивающее устройство, сочетающее комбинированное очесывающее-плющильное воздействие эластичного рабочего органа (бича) при взаимодействии с верхушечной частью ленты льна, находящейся в рабочем (молотильном) зазоре (между сепарирующей решеткой и эластичным зубчатым бичом) [5- 8]. В процессе отделения семян от стеблей льна разработанным устройством, лента льна движется транспортером в зоне обмолота в зажатом в комлевой части стеблей состоянии. В нижней части зоны обмолота жестко закреплена сепарирующая решетка (дека), а в верхней – расположен кривошипный механизм, обеспечивающий движение эластичного рабочего органа (бича) по некоторой криволинейной траектории [4-8]. Движение бича производится поперек транспортируемой ленты льна по направлению от зажимного транспортера. Качество работы обмолачивающего устройства зависит от согласованности скорости подаваемой на обмолот ленты льна, ширины рабочего органа и частоты его воздействия на обрабатываемый материал.

Основная часть

Рассмотрим схему для обоснования скорости ленты льна, представленную на рисунке 1.

Лента стеблей льна *2* при обмолоте удерживается зажимным транспортером *1* на участке $L_{зт}$ на расстоянии $L_{кс}$ от корней. На участке $L_{ст}$ происходит воздействие рабочего органа (бича) при обмолоте, а между участками $L_{зт}$ и $L_{ст}$ образуется участок $L_{мз}$ «мертвая зона». Участок ленты льна $L_{ст}$ содержит в себе семенные коробочки, которые необходимо отделить от стеблей или разрушить обмолачивающим устройством.

Очевидно, что скорость зажимного транспортера *1* и скорость ленты стеблей – это тождественные понятия $v_{тр} = v_л$ при условии стабильного и непрерывного протекания процесса обмолота.

Стабильность и непрерывность протекания изучаемого процесса обмолота семенных коробочек льна подразумевает, в том числе, и отсутствие обрыва стеблей при их движении и защемлении между декой и бичом в рабочей зоне его воздействия.

Ранее было установлено, что траектория движения бича, определяемая координатой точки *C*, представляет собой систему параметрических уравнений [9]:

$$\begin{cases} x_C(t) = \dfrac{(l+l_1)\cdot R\cdot\cos(\omega t) - l_1\cdot\left(a - R_1\cdot\cos(\delta(t))\right)}{l}, \\ y_C(t) = \dfrac{(l+l_1)\cdot R\cdot\sin(\omega t) - l_1\cdot\left(b + R_1\cdot\sin(\delta(t))\right)}{l}. \end{cases} \quad (1)$$

Интерпретировав систему уравнений (1) графически при фиксированных значениях длины кривошипа (R = 0,3 м), длины шатуна ($l + l_1$= 0,808 + 0,4 = 1,208 м), длины коромысла (R_1 = 0,95 м), горизонтальное смещение точки крепления коромысла R_1 относительно центра вращения кривошипа (a = 0,95 м), вертикальное смещение точки крепления коромысла R_1 относительно центра вращения кривошипа (b =0,75 м) совместили полученный график с точкой начала взаимодействия бича с лентой льна (точка *A*) на схеме. При этом анализ изменения скорости рабочего органа (точки С) [9] показал, что ее скорость в крайнем левом положении траектории движения (соответствующая точке *A*) имеет наименьшее значение, а проекция скорости бича на ось *Ox* близка к нулю. С некоторым допущением, можем предположить, что на протяжении времени Δt бич не перемещается по оси *Ox*, а удерживает в сжатом состоянии ленту стеблей льна. В то же время зажимной транспортер продолжает перемещать ленту

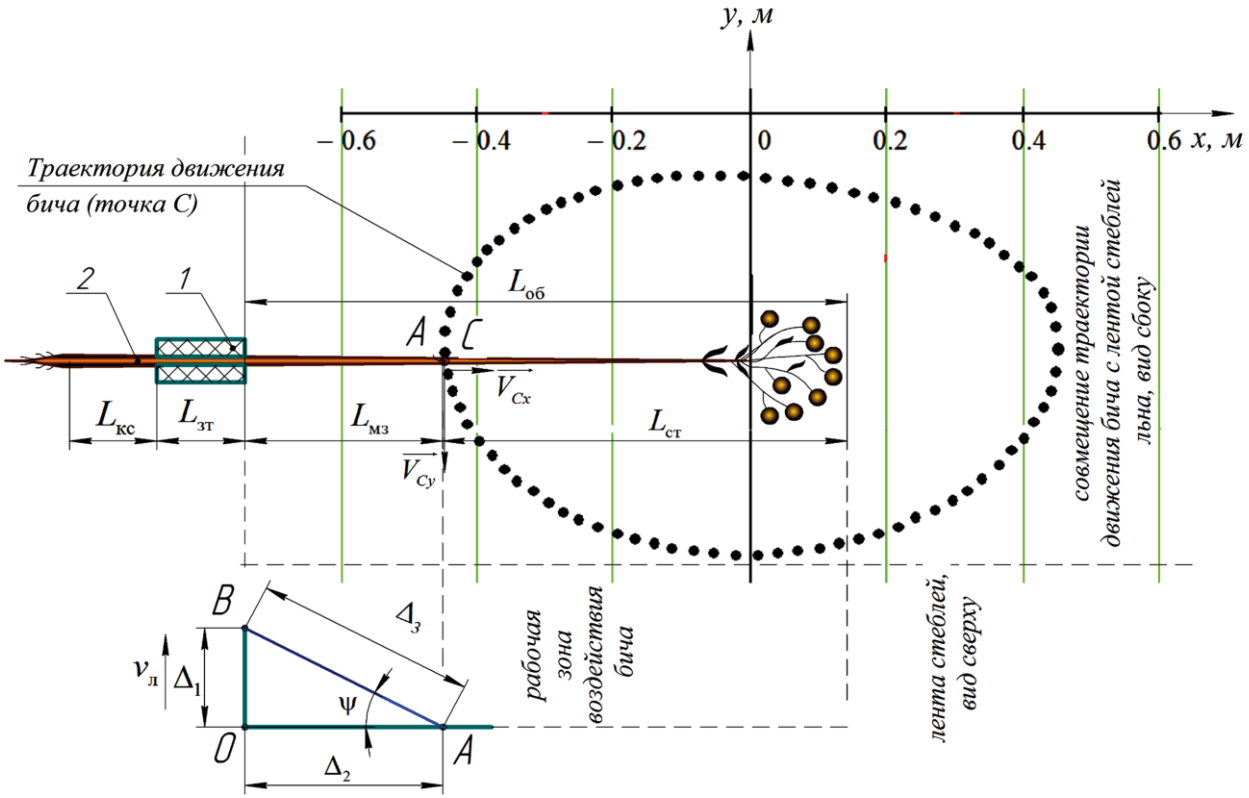


Рисунок 1. Схема к определению скорости ленты льна:
1 – зажимной транспортер; 2 – стебель льна; $L_{кс}$ – комлевая часть стебля; $L_{зт}$ – участок стебля в зажимном транспортере; $L_{мз}$ – участок стебля льна между участками Lзт и $L_{ст}$ («мертвая зона»); $L_{ст}$ – участок стебля, подверженный воздействию рабочего органа (бича) при обмолоте; $L_{об}$ – длина обрабатываемого участка стебля льна

льна, что может привести к обрыву стеблей льна, а соответственно, и к потере качества льноволокна.

На схеме (рис. 1) Δ_1 – смещение ленты льна за единицу времени Δt, соответствующая времени сжатия и удержания стеблей льна бичом в начале воздействия его на ленту льна в точке *А*, м; Δ_2 – расстояние от зажимного транспортера до точки *А* («мертвая зона»), м; Δ_3 – минимально-возможная величина смещения по диагонали, при которой происходит обрыв стебля при зажатии его в месте соприкосновения (точка А) бича с декой, м.

Нетрудно заметить, что

$$\Delta_1 = \frac{v_{тр}}{\Delta t} = \frac{v_л}{\Delta t}. \quad (2)$$

Параметр Δ_2 определяется по формуле:

$$\Delta_2 = L_{мз} = L_{об} - L_{ст}, \quad (3)$$

где $L_{об}$ – длина обрабатываемого участка стебля льна, м;

$L_{ст}$ – участок стебля, подверженный воздействию рабочего органа (бича) при обмолоте, м.

Величина $L_{ст}$ должна быть больше величины зоны расположения семенных коробочек в ленте льна.

Из выражения (2) следует

$$v_л = \frac{\Delta_1}{\Delta t}. \quad (4)$$

С целью определения величины Δ_1 была изготовлена лабораторная установка, схема и общий вид которой представлены на рисунке 2.

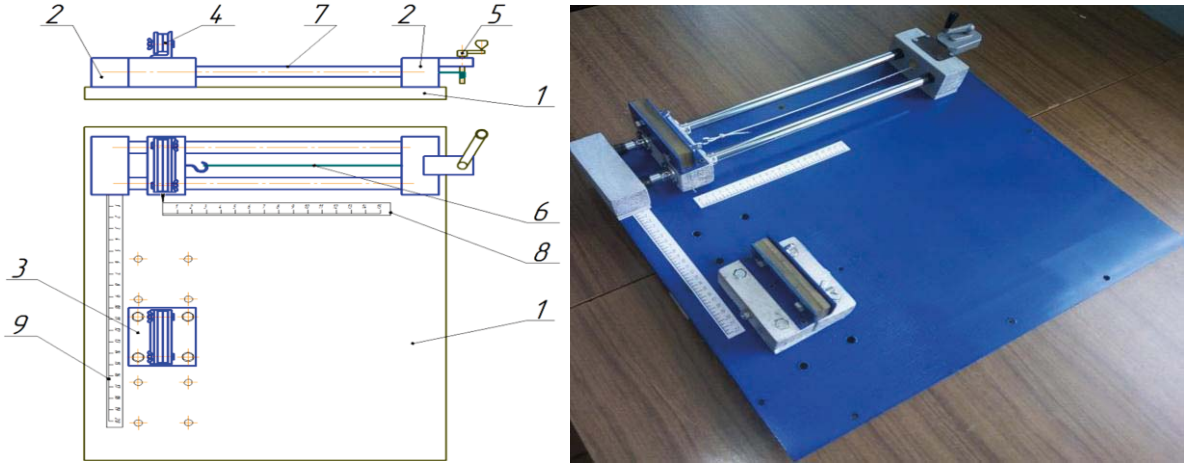
Установка представляет собой сплошную плиту *1*. На плите *1* жестко закреплены опоры *2,* в которые установлены две направляющие *7* подвижной каретки *4*. Для плавного перемещения подвижной каретки *4* на правой опоре установлен ручной механизм натяжения *5*, соединенный с кареткой *4* посредством тросика *6*. Параллельно перемещению каретки *4* нанесена шкала *8* с нулем в крайнем левом положении каретки *4*. На плите *1* также установлена переставная каретка *3*, таким образом, что перемещения каретки *4* и каретки *3* взаимно перпендикулярны. Для перемещения каретки *3* в плите *1* предусмотрены отверстия. Параллельно перемещению каретки *3* нанесена шкала *9*. На каретках *3* и *4* предусмотрены зажимные устройства стеблей льна, каждое из которых состоит из двух металлических пластин и двух полиуретановых пластин.

Опыты проводили следующим образом. В процессе проведения исследований переставная каретка *3* устанавливалась на расстоянии 0,05 м, 0,10 м, 0,15 м и 0,20 м от передвижной каретки *4*. Зажимные устройства устанавливались соосно, затем в них, между полиуретановыми пластинами, укладывался стебель льна и фиксировался зажимными винтами. Измерение диаметра стебля льна производили в зажатом состоянии в наиболее тонком месте с помощью электронного штангенциркуля с точностью до 0,01 мм. Затем, вращая рукоятку механизма натяжения *5*, плавно перемещали передвижную каретку *4* по направляющим *7*. При этом стебель льна изгибался и растягивался до момента разрыва стебля льна. Начало разрыва стебля льна фиксировалось по шкале *8* линейки ГОСТ 5094-74 с точностью до 1 мм.

Для определения величины Δ_1 были заготовлены опытные образцы льна из рулонов льнотресты на льнозаводе ОАО «Горкилен». Исследуемые образцы стеблей льна имели влажность 13-15 %. Значения диаметров стеблей колебались в пределах 0,39-2,17 мм, а их длина – 420-680 мм.

Исследования проводились в студенческой научно-исследовательской лаборатории «Ресурсосберегающие технологии переработки льна» на кафедре безопасности жизнедеятельности БГСХА.

В результате исследований получено 100 значе-



а) **б)**

Рисунок 2. Установка для определения параметра Δ_1:
а – схема установки; б – общий вид установки; 1 – плита; 2 – опоры; 3 – переставная каретка; 4 – передвижная каретка; 5 –механизм натяжения; 6 – тросик; 7 – направляющие; 8 – шкала передвижной каретки; 9 – шкала переставной каретки

ний величины Δ_1 и 100 расчетных значений угла изгиба стеблей льна ψ при различных значениях диаметра стебля льна $d_{ст}$ в наиболее тонком месте исследуемого участка стебля.

Точечные графики величины Δ_1 и угла изгиба стеблей льна ψ и соответствующие им линии тренда, учитывающие зависимости их значений от диаметра стебля льна в наиболее тонком месте исследуемого участка стебля (фактор влияния), представлены на рисунке 3.

Статистическую обработку полученных данных проводим в Microsoft Excel с помощью надстройки «Анализ данных», «Однофакторный дисперсионный анализ» [10]. В результате оценки установлена доля влияния фактора (диаметр стебля) на величину Δ_1 и угол ψ: при величине Δ_2 = 0,05 м – 91,6 %; Δ_2 = 0,10 м – 96,0 %; Δ_2 = 0,15 м – 96,8 %; Δ_2 = 0,20 м – 96,4 %.

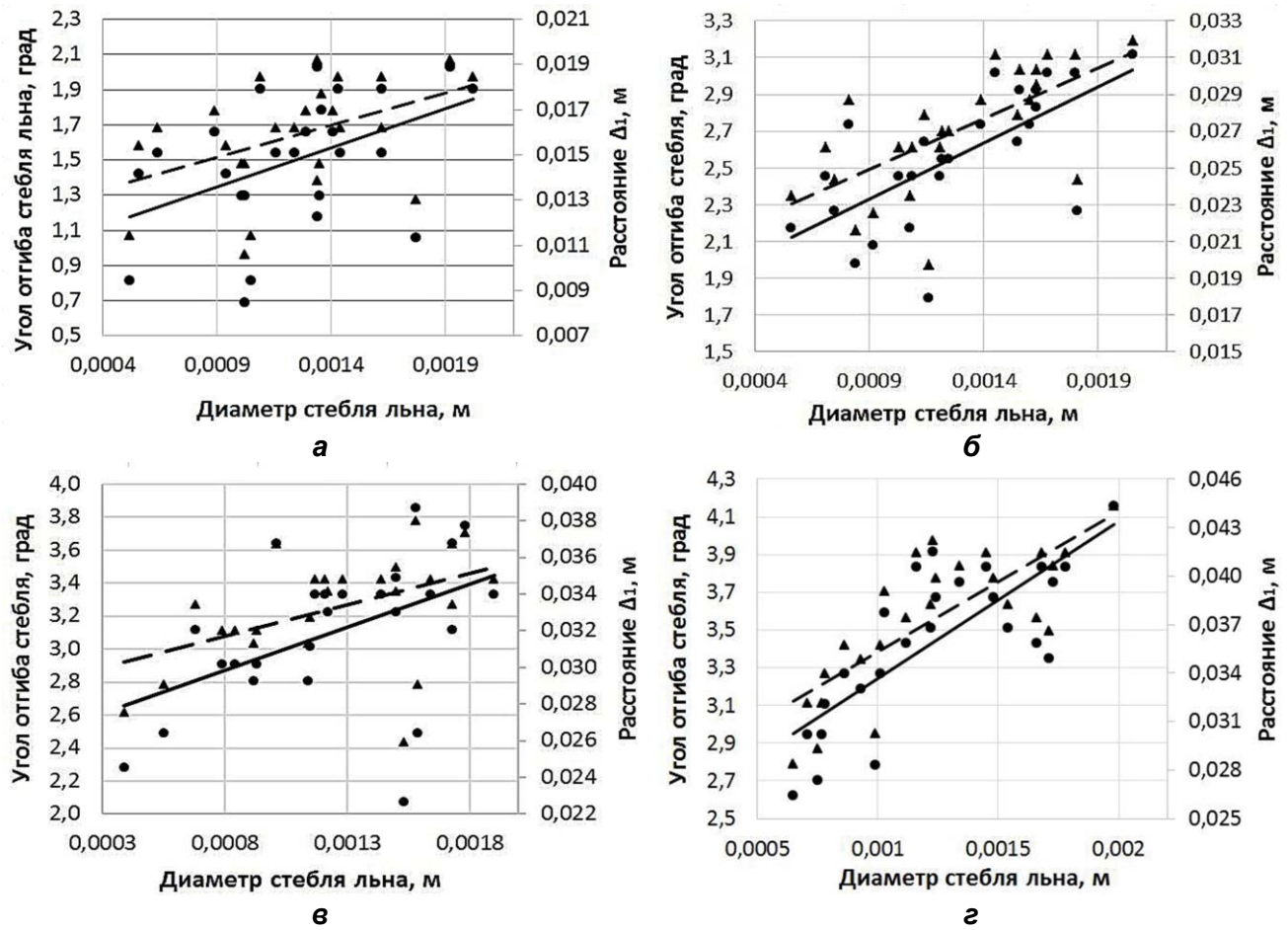
Средние значения показателей величины Δ_1 и угла изгиба стебля льна ψ для различных величин Δ_2 приведены в таблице 1.

Рассчитанный коэффициент корреляции между показателями Δ_1 и ψ составил 0,999, что свидетельствует о сильной прямой связи между ними, и при проведении расчетов можно воспользоваться одним из них. Также следует отметить, что изменение параметров Δ_1 и ψ в зависимости от величины «мертвой зоны» Δ_2 нелинейно. Угол изгиба более значителен при величине «мертвой зоны» 0,2 м, чем при 0,05 м.

Таблица 1. Средние значения показателей

Наименование параметра	Величина Δ_2, м			
	0,05	0,1	0,15	0,2
Путь, пройденный транспортером Δ_1, м	0,015	0,026	0,032	0,036
Угол изгиба стебля льна ψ, град	16,4	27,0	32,5	35,6

Анализ параметрических уравнений (1) позволяет сделать вывод о том, что в зависимости от конфигурации расположения ленты льна относительно траектории движения бича и частоты вращения приводного кривошипа, время Δt сжатия и удержания стеблей льна в точке A имеет относительно большой диапазон. Для частоты вращения приводного кривошипа



– линия тренда величины Δ_1 от диаметра стебля льна;
– линия тренда угла изгиба ψ от диаметра стебля льна;

Рисунок 3. Точечные графики величины Δ_1 и угла изгиба стеблей льна ψ и линии трендов их значений от диаметра стебля льна $d_{ст}$:
а – при Δ_2 = 0,05 м; б – при Δ_2 = 0,10 м; в – при Δ_2 = 0,15 м; г – при Δ_2 = 0,20 м

от 100 до 200 об/мин время Δt составляет от 0,015 до 0,045 с. Графики изменения скорости зажимного транспортера, определяемой по выражению (4) в зависимости от величины «мертвой зоны» Δ_2 и времени Δt представлены на рисунке 4.

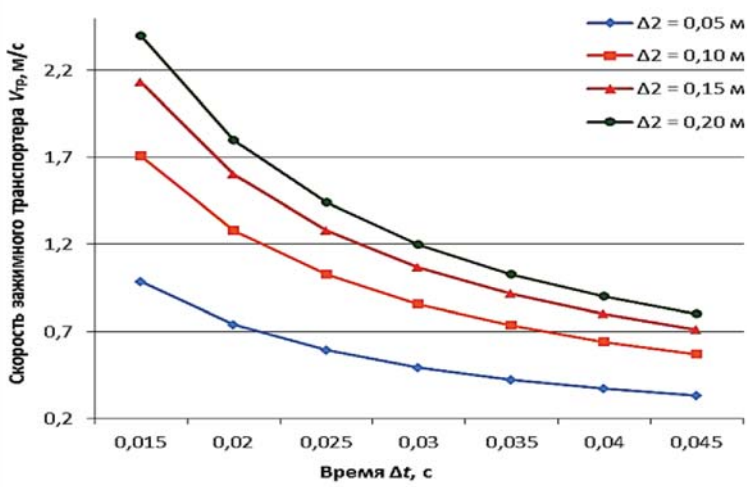


Рисунок 4. График зависимости скорости зажимного транспортера $v_{тр}$ от времени сжатия и удержания стеблей льна в точке А Δ_t

Для конструкции предлагаемого обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом минимальная величина «мертвой зоны», обусловленная конструктивными особенностями, составляет 0,08 м, а ее максимальное значение обусловлено технологическим процессом, и зависит от зоны расположения коробочек в ленте, и из выражения (3) равна 0,15 м. Из графических зависимостей (рис. 4) можно определить, что данным значениям величин «мертвой зоны» соответствует скорость зажимного транспортера $v_{тр}$ = 1,2…2,0 м/с.

Заключение

Проведен теоретический анализ начального этапа взаимодействия обмолачивающего устройства с лентой льна. Установлено, что вертикальная составляющая скорости эластичного бича в начале взаимодействия с лентой (этап сжатия и удержания ленты льна) многократно превышает горизонтальную составляющую, которая, в свою очередь, близка к нулю. При постоянной и непрерывной скорости движения зажимного транспортера такое положение может привести к обрыву стеблей льна, а соответственно, и к потере качества волокна.

Установлены закономерности изменения угла изгиба стеблей и предельной величины смещения ленты льна за единицу времени, соответствующей времени сжатия и удержания их бичом в начале воздействия на ленту от диаметра стеблей в наиболее тонком месте исследуемого участка и различных значениях величины «мертвой зоны»:

– при величине «мертвой зоны» 0,05 м и диаметре стеблей льна 0,0004 – 0,002 м расстояние Δ_1 составило 0,0114 – 0,0175 м, а угол изгиба стебля льна – 13,4 – 19,3°;

– при величине «мертвой зоны» 0,10 м и диаметре стеблей льна 0,0004 – 0,002 м расстояние Δ_1 составило 0,022 – 0,0303 м, а угол изгиба стебля льна – 23 –31,2°;

– при величине «мертвой зоны» 0,15 м и диаметре стеблей льна 0,00035–0,0019 м расстояние Δ_1 составило 0,028 – 0,0353 м, а угол изгиба стебля льна – 29 –35,2°;

– при величине «мертвой зоны» 0,20 м и диаметре стеблей льна 0,0006 – 0,002 м расстояние Δ_1 составило 0,03 – 0,044 м, а угол изгиба стебля льна – 31,2 – 41,2°.

Полученные результаты позволили установить для конструкции предлагаемого обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом предельные значения скорости зажимного транспортера:

– при величине «мертвой зоны» 0,08 м – 1,2 м/с;

– при величине «мертвой зоны» 0,15 м – 2,0 м/с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧИКОВ

1. Шаршунов, В.А. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна: монография / В.А. Шаршунов [и др.]. – Горки: БГСХА, 2016. – 156 с.

2. Шаршунов, В.А. Анализ механизированных технологий уборки и первичной переработки льна / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц, В.А. Левчук // Вестник БГСХА. – 2017. – № 2. – С. 137-141.

3. Шаршунов, В.А. Анализ устройств для отделения семян льна от стеблей / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц, В.А. Левчук // Вестник БГСХА. – 2017. – №4. – С. 174-180.

4. Исследование обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / В.А. Шаршунов [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2015. – № 3. – С. 112-117.

5. Устройство для отделения семенных коробочек от стеблей льна: пат. 7224 Респ. Беларусь, МПК A01F 11/00 / В.Е. Кругленя, М.В. Лёвкин, В.И. Коцуба, С.Н. Крепочин, В.А. Левчук; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – № u 20100607; заявл. 06.07.10; опубл. 02.02.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2 – С. 154.

6. Устройство для выделения семян из ленты льна: пат. 8183 Респ. Беларусь, МПК A01D 45/06 / В.Е. Кругленя, М.В. Лёвкин, В.А. Левчук; заявитель УО «БГСХА». – № u 20110743; заявл. 29.09.11;

опубл. 30.04.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – №2 – С. 197.

7. Обмолачивающее устройство ленты льна: пат. 8332 Респ. Беларусь, МПК A01F 11/02 / В.Е. Кругленя, М.В. Лёвкин, В.А. Левчук; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – № u 20110745; заявл. 29.09.11; опубл. 30.06.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – №3. – С. 196.

8. Устройство для обмолота коробочек льна: пат. 8494 Респ. Беларусь, МПК A01F 11/02 / В.Е. Кругленя, М.В. Лёвкин, В.А. Левчук; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – № u 20110746; заявл. 29.09.11; опубл. 04.08.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – №4. – С. 177.

9. Уравнения траектории движения рабочего органа обмолачивающего устройства колебательного типа линии первичной переработки льна «Van Dommele» / В.А. Шаршунов [и др.] // Вестник БГСХА. – 2017. – № 4. – С. 164-168.

10. Применение математических методов и ЭВМ. Планирование и обработка результатов эксперимента: учеб. пособие / В.П. Останин [и др.]; под общ. ред. А.Н. Основина. – Минск: Выш. шк., 1989. – 218 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 14.02.2022

Сепаратор вибропневматический

Предназначен для очистки зерновой массы от трудноотделимых примесей на зерноперерабатывающих предприятиях, элеваторах, комбикормовых заводах. Также может быть использован для подготовки семенного материала с целью предотвращения заражения спорыньей зерна будущего урожая на семенных станциях и в фермерских хозяйствах.

Применение в технологических линиях очистки зерна разработанного сепаратора позволит повысить эффективность очистки зерна от трудноотделимых примесей за счет системы периодического вывода фракции примесей, а также комплекта отражающих и отбойных пластин, снижающих потери годного зерна с отходами.

Основные технические данные

Производительность, т/ч до	**6**
Коэффициент очистки, % до	**95**
Площадь ситовой поверхности, м^2	**3,16**
Диапазон регулировки угла наклона деки, град	**2-8**
Амплитуда колебаний, мм	**2,5-3**
Расход воздуха, м^3/ч	**10000**
Установленная мощность привода, кВт	**2×0,18**
Диапазон регулировки частоты вращения электровибраторов, мин$^{-1}$	**800-1650**
Разрежение в рабочей камере, Па	**500-700**
Габаритные размеры, мм (д ш в)	**2240 2100 1960**
Масса сепаратора, кг, не более	**510**

УДК 539.319

К ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НА СТЕНКАХ ПОРЫ

Ю.В. Чигарев,
профессор каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ, докт. физ.- мат. наук, профессор

И.С. Крук,
проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Ф.И. Назаров,
доцент каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ, канд. техн. наук

Н.Л. Ракова,
доцент каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.С. Воробей,
науч. сотр. лаборатории механизации производства овощей и корнеклубнеплодов РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук

В статье рассматривается подход к оценке напряжений и деформаций, возникающих на стенках замкнутых пор цилиндрического и сферического типа под действием внутренних и внешних воздействий. Приведены схемы реологических моделей пористых сред. Для упругой модели получены значения радиальных и окружных напряжений в зависимости от приложенных нагрузок, внутреннего и внешнего радиусов поры и нелинейного смещения точек поры при ее деформировании.

Ключевые слова: пора, напряжение, деформация, реологическая модель, цилиндрические координаты, внутренняя и внешняя нагрузка.

The article considers an approach to the assessment of stresses and deformations arising on the walls of closed pores of cylindrical and spherical type under the influence of internal and external influences. The schemes of rheological models of porous medium are given. For the elastic model, the values of radial and circumferential stresses are obtained depending on the applied loads, the internal and external pore radii and the nonlinear displacement of the pore points during its deformation.

Key words: pore, voltage, deformation, rheological model, cylindrical coordinates, internal and external load.

Введение

Пористые материалы используются практически во всех отраслях промышленности, строительства, горного дела и сельского хозяйства [1-8]. Основные вопросы современного сельскохозяйственного машиностроения связаны с повышением надежности и снижением металлоемкости конструкций сельскохозяйственных машин и орудий, в том числе связанные с износом почвообрабатывающих рабочих органов, уплотнением и разуплотненнием почв. Точность прочностных расчетов зависит, во многом, от учета свойств материалов и их структуры. На деформирование пористых тел существенное влияние оказывает строение пор, их форма и размеры, распределение в теле и т.д. Поры в теле, как правило, распределены случайно.

Известно, что при деформировании материалов наличие пор может как уменьшать, так и увеличивать энергетические затраты. Например, многослойные пористые преграды проявляют демпфирующие свойства, защищающие конструкции от ударных и взрывных воздействий [5]. Преграды в виде каскадов, плетеных сеток, различных решеток играют роль демпфера и поэтому могут снижать энергию статических и динамических нагрузок. В случае замкнутых пор, заполненных воздухом или жидкостью, пористый материал повышает энергетические затраты на деформирование.

В почвогрунтах, в зависимости от их типа и нагружения, при деформировании можно наблюдать два вида переукладки твердых частиц: плотная, когда твердые частицы не деформируются и полностью не замыкают поры, второй вид переупаковки предполагает разрушение твердых частиц и частичное или полное замыкание пор.

В почвах поры могут быть частично или полностью заполнены водой. Степень водонасыщения и тип самих пор (замкнутые, полузамкнутые и открытые) влияют на процесс деформирования, так как изменяют параметры физических свойств.

В случае открытых пор, заполненных воздухом, например, пористых тел типа пенопластов, сухих почв, график зависимости напряжение (σ) от, деформации (ε) показан на рис.1.

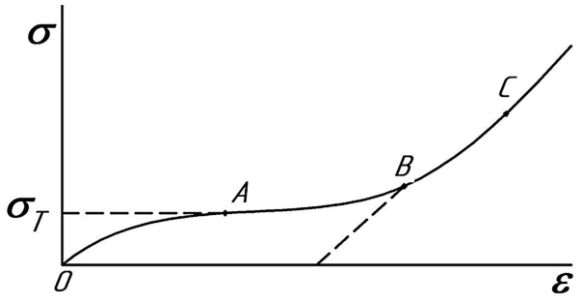


Рисунок 1. Диаграмма «напряжение-деформация» для пористых материалов: участок ОА соответствует упругому деформированию, АВ – пластическому; ВС – упрочнению; σ_T – предел текучести

Данный график подобен классической диаграмме «напряжение-деформация» сплошных материалов. Отличие участков упругости и пластичности связано с существенно меньшим пределом текучести σ_T (точка А) и большим участком пластического течения (АВ), который зависит от процесса замыкания пор. После частичного или полного замыкания пор происходит упрочнение материала, т.е. деформирование возможно при значительном увеличении напряжений (участок ВС).

Цель работы – изучить существующие модели пористых сред и предложить математические зависимости для определения геометрических параметров и напряженного состояния стенок пор в зависимости от действующих внешней и внутренней нагрузок.

Основная часть

Исследованию математических моделей пористых тел со сложной реологией посвящены работы [6-8; 10-13]. Наиболее общая механическая модель, упруговязкопластических пористых тел, соответствующая рассмотренной диаграмме, показана на рисунке 2.

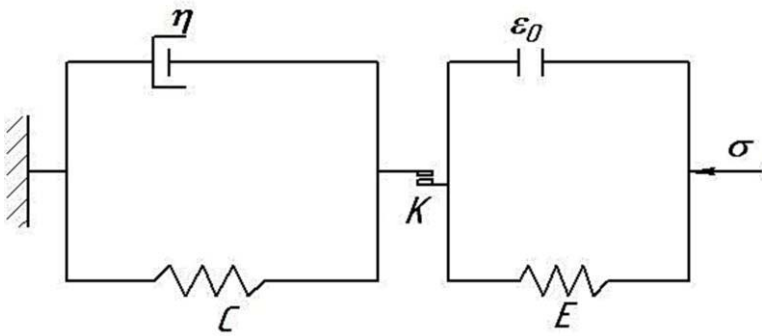


Рисунок 2. Механическая модель упруговязкопластических пористых тел: σ – напряжение; ε_o – пористость; E – модуль упругости; K= σ_T – коэффициент пластичности; η – коэффициент вязкости; C – коэффициент упрочнения

Данная модель состоит из двух частей [7]. Первая часть предполагает упругое деформирование до закрытия пор. При дальнейшем увеличении нагрузки до предела текучести $\sigma_T = K$, в теле появляются деформации, связанные с вязкопластическими упрочняющимися свойствами.

Если тело после замыкания пор проявляет упругопластические свойства, то механическая модель может быть представлена на основе реологической модели Прандтля (рис. 3а).

В модели, представленной на рисунке 3б, замыкание пор проходит одновременно с пластическим течением.

В данной работе рассмотрим подход к оценке напряженного и деформированного состояния сечения стенки поры, которая образована двумя поверхностями с радиусами – наружным $r_н$ и внутренним $r_в$. Считаем, что внешняя и внутренняя поверхности нагружены равномерно распределенными нагрузками, соответственно, $P_н$ и $P_в$ (рис. 4). Данное сечение может принадлежать как к сферической, так и к цилиндрической форме поры или составлять отдельную часть более сложной конфигурации. В случае сферической поры сечение проходит через точку О центр сферы и перпендикулярно оси симметрии, проходящей через точку О.

Внешнее нагружение может быть представлено гидростатическим давлением или монотонно возрастающим. Внутреннее давление может быть обусловлено сжатым воздухом или жидкостью.

В сечении выделим некоторый элемент *ABCD* стенки поры (рис. 5).

В цилиндрической системе координат r, θ, Z рассмотрим равновесие элемента *ABCD* стенки поры. Предположим, симметричность поры и однородность материала стенок поры, составляющих ее толщину, а координатные оси r, θ, Z совпадающими с главными направлениями напряженного и деформированного состояния. Ось Z выберем совпадающей с осью симметрии, перпендикулярной плоскости сечения и проходящей через точку О.

Пусть на площадках стенок поры, перпендикулярных оси симметрии, действуют напряжения

$$\sigma_z = \frac{P_z}{F},$$

где P_z – осевая нагрузка, Н;

F – площадь поперечного сечения сферы, м^2.

Для элементарного объема стенки поры со сторонами *ABCD* и толщиной dz будут выполняться уравнения равновесия сил, приложенных к рассматриваемой оболочке сходящихся к оси Z , т.е. можно записать:

$$\begin{cases} \sum P_{z,j} = 0; \\ \sum P_{\theta,j} = 0; \\ \sum P_{r,j} = 0. \end{cases} \qquad (2)$$

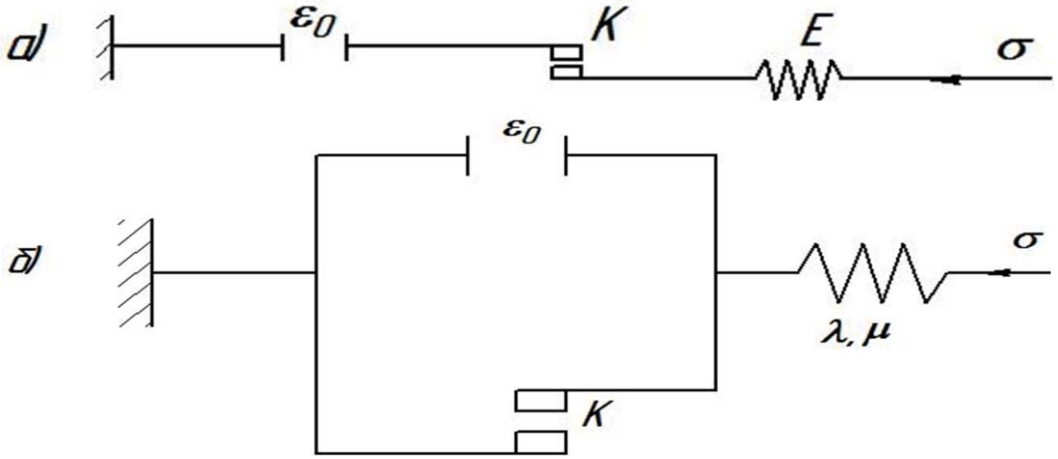


Рисунок 3. Модели пористых упругопластических тел

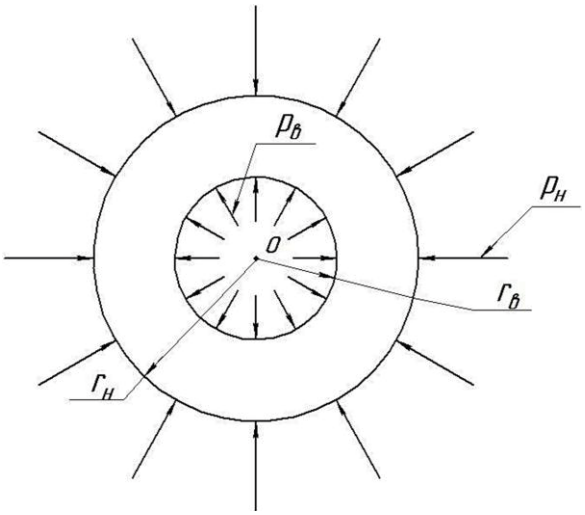


Рисунок 4. Схема сферической нагруженности поры

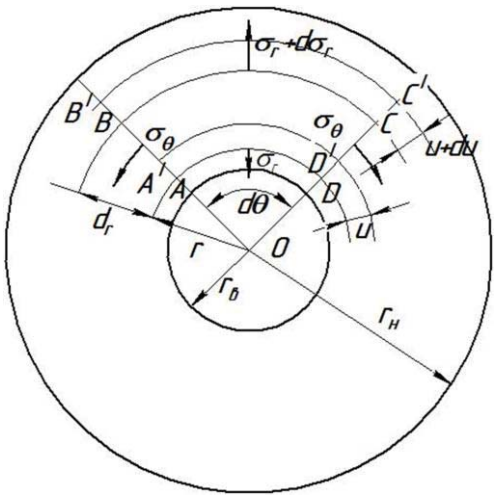


Рисунок 5. Схема поры равновесного и деформированного состояния

Данное условие равновесия обеспечивает сохранение начальной пористости почвы $П_o$ [8]. В случае сферы

$$П_o = \frac{r_{ов}^3}{r_{он}^3 - r_{ов}^3}, \qquad (3)$$

где $r_{он}$ – начальный наружный радиус поры, м;
$r_{ов}$ – начальный внутренний радиус поры, м.
В случае цилиндра

$$П_6 = \frac{r_{ов}^2}{r_{он}^2 - r_{ов}^2}.$$

Распишем уравнения системы (2).
Первое уравнение системы (2) (рис. 5) будет [9]

$$P_z = \sigma_z^в dF = \sigma_z^н dF, \quad (dF = drd\theta)$$

или

$$\sigma_z^в = \sigma_z^н = \sigma_z, \qquad (4)$$

где $\sigma_z^в$, $\sigma_z^н$ – напряжение на верхней и нижней поверхностях элемента *ABCD*, Па.

Рассмотрим второе уравнение системы (2), в котором силы будут действовать со стороны *AB* и *CD*. В этом случае имеем:

$$\sigma_{\theta(AB)} dr \cdot dz \cdot \cos\frac{d\theta}{2} =$$

$$= \sigma_{\theta(СД)} dr \cdot dz \cdot \cos\frac{d\theta}{2}$$

или

$$\sigma_{\theta(АВ)} = \sigma_{\theta(СД)} = \sigma_\theta. \qquad (5)$$

Третье уравнение системы (2) будет [9]

$$(\sigma_r + d\sigma_r)\cdot(r + dr)d\theta dz - \sigma_r r d\theta dz -$$

$$-2\sigma_\theta dr dz \sin\frac{d\theta}{2} = 0. \qquad (6)$$

При малых углах $d\theta$ можно сделать замену $\sin\frac{d\theta}{2}=\frac{d\theta}{2}$, а также отбрасывая величины второго порядка малости $d\sigma_r dr$, путем несложных преобразований получим дифференциальное уравнение равновесия элементов стенок пор:

$$\frac{d\sigma_r}{dr}=-\frac{\sigma_r-\sigma_\theta}{r}. \quad (7)$$

Уравнение (7) выражает связь между радиальным σ_r и окружным σ_θ напряжениями. Если предположить, что на стенке поры основное влияние оказывают радиальные напряжения, то можно считать $\sigma_\theta=\text{const}$. Тогда из уравнения (7) получим:

$$\ln\left|\sigma_r-\sigma_\theta\right|=-\ln r+C_1.$$

Полагая начальные условия в виде $r=r_o$; $\sigma_r=\sigma_{ro}$, получим:

$$\sigma_r=\sigma_\theta(1-e^{\ln\frac{r_o}{r}})+\sigma_{ro}e^{\ln\frac{r_o}{r}}.$$

Рассматриваемый элемент *ABCD* после деформирования примет положение *ABCD* (рис. 5) [9].

Относительная деформация вдоль *r* будет

$$\varepsilon_r=\frac{A^{/}B^{/}-AB}{AB}=\frac{(dr-du)-dr}{dr}=$$

$$=\frac{du}{dr}. \quad (8)$$

Относительная окружная деформация

$$\varepsilon_\theta=\frac{A^{/}D^{/}-AD}{AD}=$$

$$=\frac{(rd\theta-ud\theta)-rd\theta}{rd\theta}=\frac{u}{r}. \quad (9)$$

Откуда

$$u=\varepsilon_\theta\cdot r. \quad (10)$$

Получим

$$\frac{du}{dr}=\varepsilon_\theta+r\frac{d\varepsilon_\theta}{dr}. \quad (11)$$

С учетом (8) уравнение (11) связывают радиальные и окружные деформации

$$\varepsilon_r=\varepsilon_\theta+r\frac{d\varepsilon_\theta}{dr}. \quad (12)$$

При перемещении точек стенки поры изменится пористость, которая будет определяться для полой сферы [8]:

$$\Pi=\frac{r_н^3}{r_н^2-r_в^3}.$$

Для полого цилиндра:

$$\Pi=\frac{r_н^2}{r_н^2-r_в^2},$$

где $r_н$ и $r_в$ –наружный и внутренний текущие радиусы поры, м.

Согласно работе [8], связь между *r* и r_o в зависимости от изменения объема пор будет в случае сферической поры

$$r=\sqrt[3]{r_o^3-r_{ов}^3\cdot\frac{\Pi_o-\Pi}{\Pi_o-1}}.$$

В случае полого цилиндра

$$r=\sqrt{r_o^2-r_{ов}^2\cdot\frac{\Pi_o-\Pi}{\Pi_o-1}}.$$

Уравнения (7) и (12) можно использовать в исследовании напряженного и деформированного состояния с учетом реологии свойств материалов, т.е. моделями, приведенными в начале статьи. В случае упругих свойств материала стенок поры закон Гука можно записать в форме:

$$\varepsilon_r=\frac{1}{E}[\sigma_r-\mu(\sigma_\theta+\sigma_z)], \quad (13)$$

$$\varepsilon_\theta=\frac{1}{E}[\sigma_\theta-\mu(\sigma_r+\sigma_z)], \quad (14)$$

$$\varepsilon_z=\frac{1}{E}[\sigma_z-\mu(\sigma_z+\sigma_\theta)]. \quad (15)$$

Переход в пластическую область будет определяться условием:

$$\frac{\sigma_r-\sigma_\theta}{2}=\text{К}, \quad (16)$$

где σ_r – главное максимальное напряжение, Па;
σ_θ – главное минимальное напряжение, Па.

Если умножить равенство (12) на модуль упругости *E*, и подставив выражения (13) и (14), после некоторых преобразований получим уравнение Эйлера [9]

$$-r^2\frac{d^2\sigma_r}{dr^2}+3r\frac{d\sigma_r}{dr}=0. \quad (17)$$

Опуская промежуточные выкладки, решения уравнения (17) при граничных условиях при $r=r_{ов}$; $\sigma_r=P_н$, окончательно можно записать:

$$\sigma_r=\frac{P_в r_в^2-P_н r_н^2}{r_н^2-r_в^2}-\frac{P_в-P_н}{r_н^2-r_в^2}\cdot\frac{r_в^2\cdot r_н^2}{r^2},$$

$$\sigma_\theta=\frac{P_в r_в^2-P_н r_н^2}{r_н^2-r_в^2}+\frac{P_в-P_н}{r_н^2-r_в^2}\cdot\frac{r_в^2\cdot r_н^2}{r^2}.$$

Напряжение σ_z найдем из равенства

$$\sigma_z\pi(r_н^2-r_в^2)=\pi(P_в r_в^2-P_н r_н^2),$$

которое в случае цилиндрической поры соответствует закрытию ее на торцах.

Откуда осевое напряжение, действующее на торцы, будет

$$\sigma_z = \frac{P_в r_в^2 - P_н r_н^2}{r_н^2 - r_в^2}. \quad (18)$$

В случае открытой цилиндрической поры осевое напряжение равно нулю.

Заключение

Предложенные в работе теоретические модели упруговязкопластических пористых тел позволяют оценить напряженное и деформированное состояние цилиндрической и сферической поры в зависимости от изменения пористости почвы под действием внешних и внутренних нагрузок.

Получены формулы для определения радиальных и окружных напряжений, возникающих на стенках поры.

Полученные результаты могут использоваться при исследовании закономерностей деформирования различных пористых материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ляхов, Г.М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах / Г.М. Ляхов. – М.: Наука, 1982. – С. 288.

2. Бодренко С.И. Исследование распространения ударных волн в пенополистироле / С.И. Бодренко, Ю.А. Крысанов, С.А. Новиков // Прикладная механика и техническая физика. – 1979. – № 6. – С. 140-144.

3. Batcher, B.M. Dynamic response of partially compacted porous aluminum during unloading / B.M. Batcher // J. Appl. Phys. – 1973. – V. 44. – № 10. – P. 4576-4582.

4. Boade, R.R. Principal Hugoniot, Second-shock Hugoniot, and release behavior of pressed copper powder / R.R. Boade // J. Appl. Phys. – 1970. – V. 41. № – 11. – P. 4542-4551.

5. Численная модель деформирования противоосколочной сетки при взрывном нагружении / А.И. Абакумов [и др.] // Труды ВНИИЭФ. Серия: Математическое моделирование физических процессов. – 2006. – № 10. – С. 16-30.

6. Садовский, В.М. Анализ деформации пористой среды с учетом схлопывания пор / В.М. Садовский, О.В. Садовская // Прикладная механика и техническая физика. – 2016. – Т. 57. – № 5. – С. 53-65.

7. Бунтов, А.Е. Устойчивость монолитных крепей подземных сооружений с учетом пористой структуры материала и сложной реологии сжатого скелета: дисс. … канд. ф.-м. наук: 01.02.04 / А.Е. Бунтов. – Воронеж, 2017. – 201 с.

8. Новые процессы деформации металлов и сплавов / А.П. Коликов [и др.]. – М.: Высшая школа, 1986. – С. 351.

9. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана. – 1999. – С. 592.

10. Крук И.С. Научные основы проектирования устройств для разделки и поверхностной обработки почвенных пластов к оборотным плугам / И.С. Крук, Ф.И. Назаров, Ю.В. Чигарев. – Минск: БГАТУ, 2021. – 228 с.

11. Чигарев, Ю.В. Методики лабораторных и аналитических исследований сельскохозяйственных сред с пористой структурой / Ю.В. Чигарев, И.С. Крук, В. Романюк, Ф.И. Назаров // Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза: сб. статей / Институт технологических и естественных наук в Фалентах (отделения в Варшаве); ред.: В. Романюк. – Фаленты – Варшава, 2017. – С. 27-37.

12. Терлеев, В.В. Моделирование гидрофизических свойств почвы как капиллярно-пористого тела и усовершенствование метода Муалема-Ван Генухтена: теория / В.В. Терлеев, М.А. Нарбут, А.Г. Топаж, В. Миршель // Агрофизика. – 2014. – № 2. – С. 35-44.

13. Физика почв / А.И. Ивлев [и др.]. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального ун-та, 2020. – 108 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.02.2022

УДК 621.313

ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК С СИЛОВЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ СО СХЕМОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ» ПРИ НЕССИМЕТРИЧНОМ И НЕЛИНЕЙНОМ ХАРАКТЕРЕ НАГРУЗКИ

А.И. Зеленькевич,
ст. преподаватель каф. электроснабжения БГАТУ

В статье представлены результаты исследования изменения степени несимметрии и несинусоидальности напряжений при параллельном включении рекомендованных к применению в сельских электрических сетях трансформаторов с рекомендованными к применению в сельских электросетях схемами соединений с нулевым проводом и силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом».

Ключевые слова: трансформатор, схема соединения обмоток, параллельная работа, коэффициент несимметрии напряжений, суммарный коэффициент гармонических составляющих.

The article presents research results of changes in the degree of asymmetry and non-sinusoidality of voltages with parallel connection of transformers recommended for use in rural electrical networks with connection schemes recommended for with a neutral wire and a power transformer with a winding connection scheme "star-double zig-zag with a neutral wire".

Key words: transformer, winding connection scheme, parallel operation, voltage unbalance factor, total of multiples.

Введение

Параллельное включение трансформаторов позволяет обеспечивать резервирование питания, работу широко используемых в сельских электросетях трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» до полного использования их ресурса при росте нагрузки в электрических сетях, увеличить коэффициент загрузки трансформаторов, осуществляя постепенный ввод/вывод трансформаторных мощностей при фактическом росте/падении нагрузок, снизить требуемую резервируемую мощность трансформаторов, повысить качество напряжения из-за стабилизированного уровня токов короткого замыкания в сети и повысить надежность срабатывания релейной защиты при однофазных коротких замыканиях [1-4].

При выполнении следующих условий возможно включение силовых трансформаторов на параллельную работу:

– группы соединения обмоток трансформаторов должны быть одинаковы;

– отличие коэффициентов трансформации должно быть не более чем на 0,5 %;

– величины напряжений короткого замыкания трансформаторов должны отличаться не более чем на 10 %;

– номинальные мощности трансформаторов могут отличаться между собой не более чем в 3 раза;

– напряжения трансформаторов должны быть сфазированы.

Как показывают проведенные исследования [5-7], конструкция разработанного силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» обеспечивает выполнение всех этих условий.

Для снижения уровней несимметрии и несинусоидальности напряжений в сельских электрических сетях, которые обладают сравнительно низкой плотностью и ярко выраженными пиками и провалами электрических нагрузок, наиболее целесообразным является применение сравнительно недорогостоящих и надежных по конструктивному исполнению силовых трансформаторов с разработанной схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом», которая обеспечивает возможность параллельной работы с трансформаторами нулевой группы соединений обмоток, компенсирует магнитные потоки нулевой

последовательности и магнитные потоки высших гармонических составляющих, кратных трем, в стали стержней магнитопровода [5-7].

Целью работы является определение изменения степени несимметрии и несинусоидальности напряжений при параллельном включении рекомендованных к применению в сельских электрических сетях трансформаторов с рекомендованными к применению схемами соединений с нулевым проводом и разработанного трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом».

Основная часть

Для определения изменения степени несимметрии и несинусоидальности напряжений при параллельной работе в сельских электрических сетях трансформаторов одинаковой мощности рассматривались схемы соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» (Y/Yн), «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» (Y/YнСУ) трансформатора с разработанной схемой соединения «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом». Исследования параллельной работы трансформаторов при несимметричном характере нагрузки проводились с учетом требований к включению трансформаторов на параллельную работу.

При экспериментальных исследованиях несимметрии и несинусоидальности напряжений при параллельной работе трансформаторов, изменение нагрузки обеспечивалось при помощи однофазных ползунковых реостатов. Искусственно создавались три глубоко несимметричных режима нагрузки, когда в одной из фаз всех трех режимов ток нагрузки менялся в пределах 0…1,2 $I_н$, а в двух других фазах первого режима был равен номинальному, второго режима – в одной из двух фаз равен нулю, а в другой – номинальному, для третьего режима – в двух других фазах был равен нулю.

В указанных режимах работы при помощи трехфазного анализатора качества напряжения марки Fluke 425 измерялись значения междуфазных и фазных напряжений трансформаторов высшей и низшей сторон, значения токов нагрузки низшей стороны, коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности.

Зависимости значений коэффициентов несимметрии вторичных напряжений для принятых режимов изменения токов нагрузки каждой из исследованных схем приведены на рисунке 1. Характер изменения зависимостей показывает, что снижение симметрии нагрузочных токов приводит к увеличению коэффициентов несимметрии вторичных напряжений.

При параллельной работе силовых трансформаторов одинаковой мощности со схемами соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» и «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности при эксперименте в режиме 1 изменялся от 0,39 % до 2,57 %; в режиме 2 – от 1,14 % до 2,95 %; в режиме 3 – от 0,27 % до 2,89 %. При параллельном включении силовых трансформаторов со схемами соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» и «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности при эксперименте в режиме 1 изменялся от 0,23 % до 2,33 %; в режиме 2 – от 1,15 % до 2,96 %; в режиме 3 – от 0,26 % до 2,71 %.

При раздельной работе силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при изменении нагрузки в пределах 0…1,2 $I_н$ значения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности при эксперименте в режиме 1 изменялись от 0,14 % до 1,62 %; в режиме 2 – от 0,91 % до 1,74 %; в режиме 3 – от 0,10 % до 1,67 %.

При параллельном включении трансформаторов со схемами соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» и «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» значения коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности при эксперименте в режиме 1 изменялись от 1,5 % до 8,49 %; в режиме 2 – от 5,24 % до 9,52 %; в режиме 3 – от 1,7 % до 8,67 %. При параллельной работе трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» и «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности при эксперименте в режиме 1 изменялись от 1,2 % до 6,9 %; в режиме 2 – от 4,59 % до 8,36 %; в режиме 3 изменялись от 1,2 % до 7,81 %.

При раздельной работе силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при изменении нагрузки в пределах 0…1,2 $I_н$ значения коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности при эксперименте в режиме 1 изменялись от 0,27 % до 2,98 %; в режиме 2 – от 1,79 % до 2,98 %; в режиме 3 изменялись от 0,10 % до 1,67 %.

Для оценки качества напряжения при параллельном включении трансформаторов на нелинейную нагрузку величина нагрузки трансформатора изменялась в пределах от 0,1 до 1,3 от номинальной при помощи однофазных ползунковых реостатов. К вторичной обмотке реостаты подключались посредством трехфазного двухполупериодного полупроводникового выпрямителя. Измерения проводились при различных величинах нелинейной токовой нагрузки значений суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения, и до 40-й гармоники включительно, коэффициентов высших гармонических составляющих напряжений.

Значения суммарного коэффициента гармонических составляющих вторичных напряжений при параллельной работе силовых трансформаторов приведены в таблице 1.

По экспериментальным данным построены зависимости (рис. 2-3), анализ которых показывает, что в трансформаторах при малых нагрузках величины суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения малы. Искажение синусоиды напряжения основной частоты практически не происходит, так как величины токов высших гармонических составляющих и соответствующие им падения напряжений сравнительно малы.

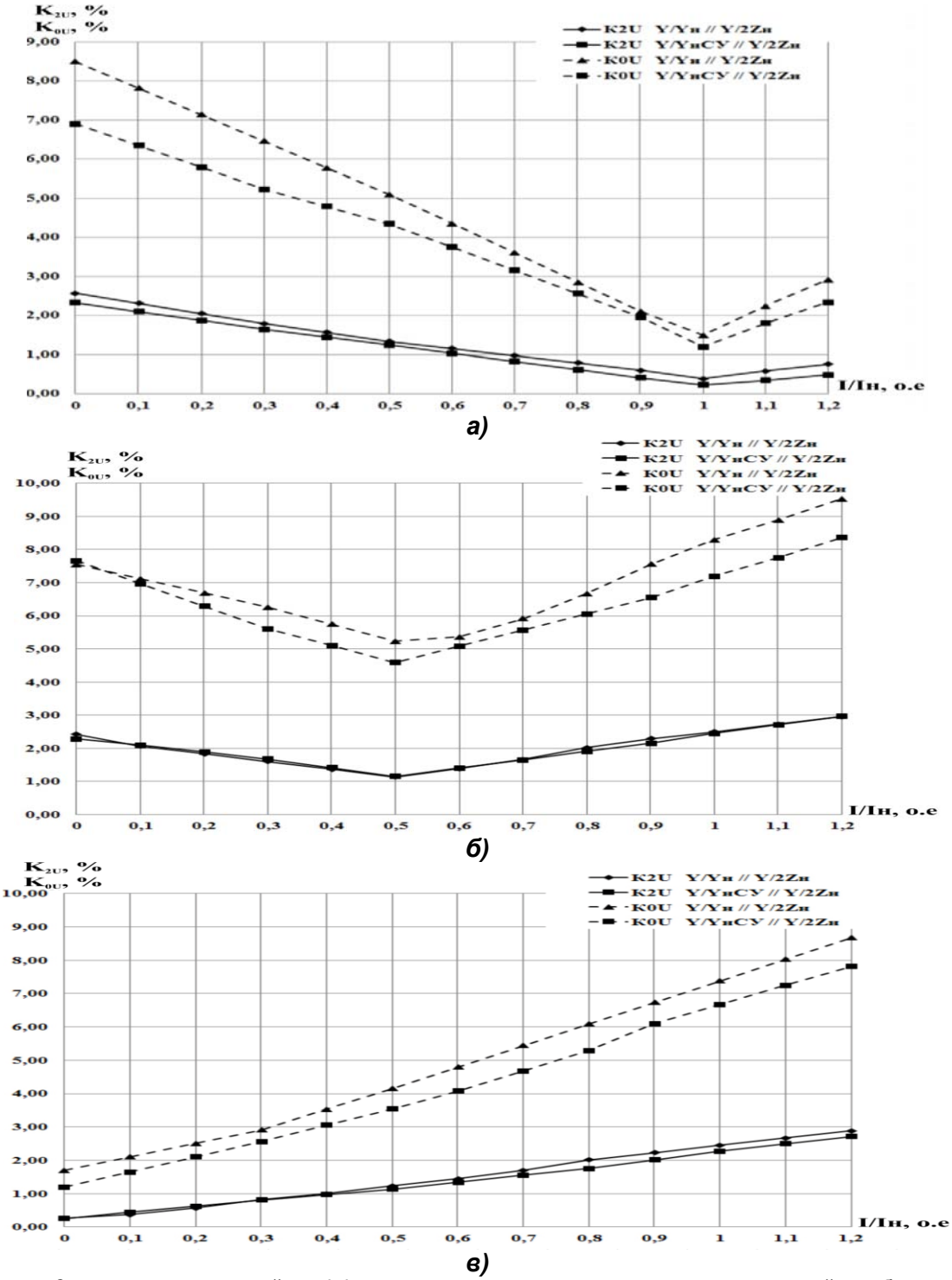


Рисунок 1. Зависимости значений коэффициентов несимметрии вторичных напряжений по обратной K2U и по нулевой последовательности K0U от величины тока нагрузки при параллельной работе трансформаторов с различными схемами соединения: а, б, в – для режимов 1, 2, 3, соответственно

Таблица 1. Значения суммарного коэффициента гармонических составляющих вторичных напряжений при параллельной работе силовых трансформаторов на нелинейную нагрузку

Схема соединения обмоток трансформатора	Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжений, K_U , %												
	при $I/I_н$												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
Y/Yн // Y/2Zн	2,18	2,24	2,31	2,45	2,67	2,81	2,99	3,12	3,33	3,58	3,74	3,85	4,07
$Y/Y_н$СУ // Y/2Zн	2,00	2,07	2,14	2,35	2,57	2,71	2,89	3,04	3,25	3,51	3,67	3,78	4,00

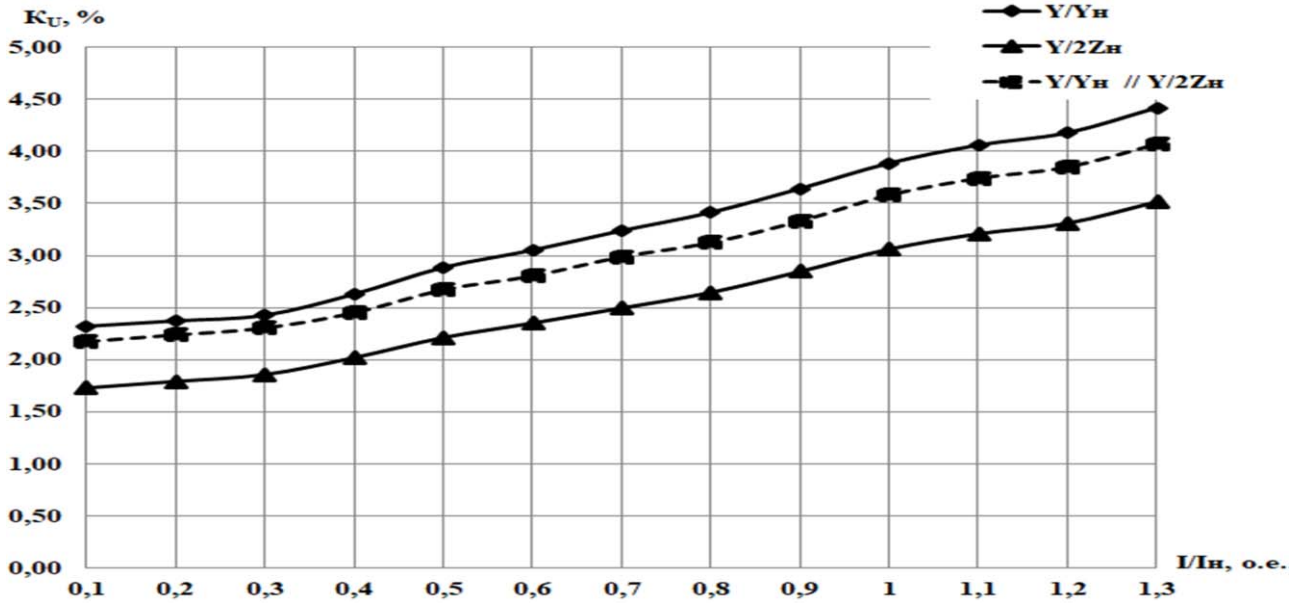


Рисунок 2. Зависимости значений суммарного коэффициента гармонических составляющих вторичных напряжений, соответственно, для трансформаторов со схемами соединений Y/Yн и Y/2Zн при раздельной и параллельной работе на нелинейную нагрузку

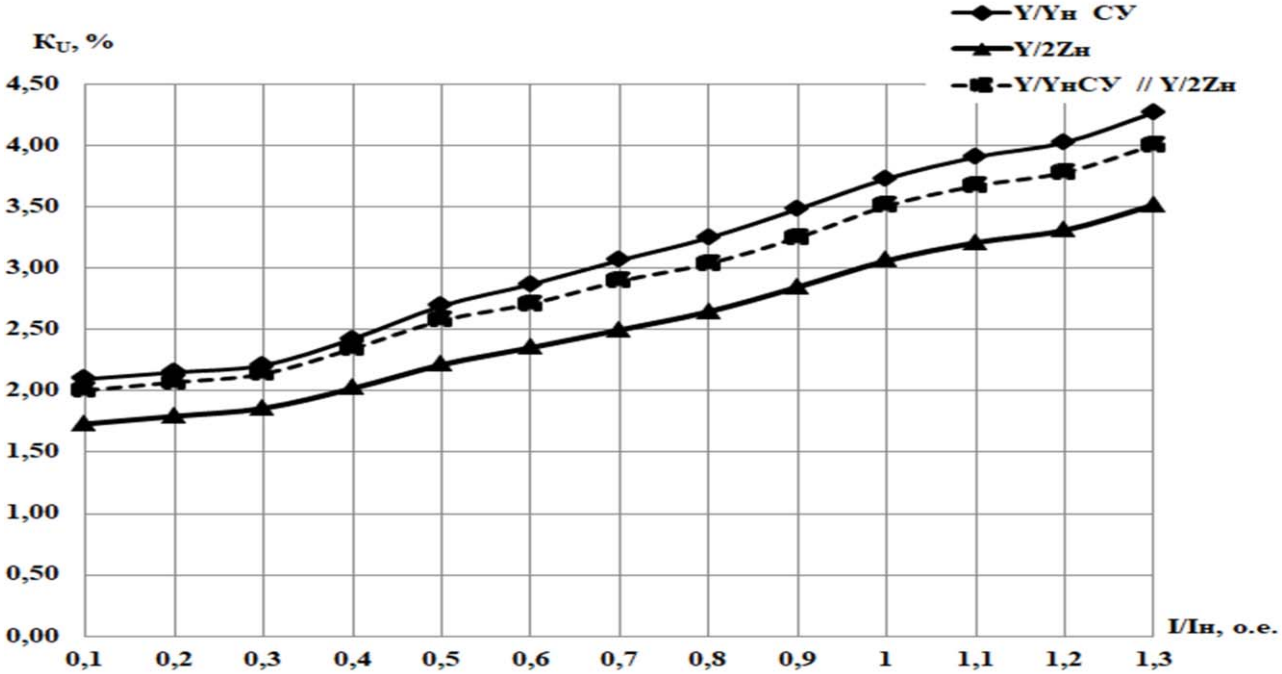


Рисунок 3. Зависимости значений суммарного коэффициента гармонических составляющих вторичных напряжений, соответственно, для трансформаторов со схемами соединений Y/YнСУ и Y/2Zн при раздельной и параллельной работе на нелинейную нагрузку

Значения суммарного коэффициента гармонических составляющих при увеличении степени загрузки трансформаторов увеличиваются. При значении тока нагрузки, равном номинальному, для схем соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» и «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» значения суммарного коэффициента гармонических составляющих равно 3,74 %, для схем «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» и «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» – 3,67 %.

Проведенные экспериментальные исследования состава спектра напряжений показали, что для всех схем соединения обмоток увеличение загрузки трансформаторов приводит к увеличению значений токов высших гармоник, что обуславливает увеличение значений высших гармонических составляющих напряжений. Различная скорость увеличения уровней гармонических составляющих напряжений объясняется разной компенсирующей способностью схем соединения обмоток.

При параллельной работе трансформаторов с одной из схем соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом», «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» со схемой соединения «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» величины высших гармоник ниже, чем при раздельной работе этих схем.

При раздельной работе силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» в кривых фазных токов вторичной стороны практически полностью отсутствуют высшие гармоники, кратные трем. Следует отметить небольшое присутствие третьей гармоники тока. В диапазоне изменения загрузки силового трансформатора от холостого хода до $1{,}2I_н$ среднее по трем фазам значение коэффициента третьей гармоники тока изменяется от 8,3 % до 1,6 %. Присутствуют нечетные гармоники: 7-я, 11-я, 13-я, 17-я. Величины четных гармоник на порядок ниже соседних нечетных. Необходимо указать на наличие пятой гармоники тока. В диапазоне изменения загрузки трансформатора от холостого хода до $1{,}2I_н$ коэффициент пятой гармоники изменяется от 24,3% до 7,6%.

При параллельной работе силовых трансформаторов со схемами соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» и «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» наиболее выражены: 5-я (1,7 %), 7-я (1,44%), 11-я (1,42 %) и 3-я (1,13 %) гармоники, величины которых ниже допустимых значений. Необходимо указать, что при номинальной нагрузке трансформатора величины 13-й (1,01 %), 17-й (1,01 %), 19-й (0,79 %), 23-й (0,71 %), 25-й (0,58%), 31-й (0,74%), 35-й (0,42%), 29-й (0,39%) и 37-й (0,29%) гармоник, также не превышают допустимых значений.

При параллельной работе силовых трансформаторов со схемами соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» и «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» наибольшие значения имеют 5-я (1,7 %), 7-я (1,43 %), 11-я (1,41 %) гармоники, величины которых ниже допустимых значений. Присутствуют также 13-я (1,01%), 17-я (1,01%), 3-я (0,84%), 19-я (0,78%), 23-я (0,74%), 25-я (0,63%), 29-я (0,53%), 35-я (0,42%), 31-я (0,41%) и 37-я (0,29%) гармоники, величины которых при номинальной нагрузке также не превышают допустимых значений.

Заключение

При включении на параллельную работу одного из силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» и «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» с разработанным трансформатором со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» величины значений коэффициента несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательности при параллельной работе трансформаторов меньше, чем при раздельной работе соответствующих трансформаторов с вышеуказанными известными схемами соединения обмоток.

Наименьшие значения коэффициентов несимметрии напряжения при искусственно создаваемых несимметричных режимах нагрузки по обратной (0,23 %) и нулевой (1,2 %) последовательности наблюдаются при включении на параллельную работу трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» и «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом».

Результаты экспериментальных исследований показали, что при параллельной работе силовых трансформаторов с одной из схем соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» и «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» с силовым трансформатором со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при номинальной нагрузке обеспечивается на 17,8…23,1 % меньшее значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжений, чем при отдельной работе трансформаторов с указанными схемами соединений обмоток ($Y/Y_н$ и $Y/Y_н$СУ), и может быть рекомендовано к применению при работе трансформатора на нелинейную нагрузку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – Т. 1. – 652 с.

2. Прокопчик, В.В. Повышение качества электроснабжения и эффективности электрооборудования предприятий с непрерывными технологическими процессами / В.В. Прокопчик. – Гомель: ГГТУ, 2002. – 283 с.

3. Жежеленко, И.В. Электромагнитная совместимость в электрических сетях / И.В. Жежеленко, М.А. Короткевич. – Мн.: Вышэйшая школа, 2012. – 197 с.

4. Арриллага, Дж. Гармоники в электрических системах: пер. с англ. / Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.: ил.

5. Прищепов, М.А. Перспективный силовой трансформатор с улучшенными характеристиками для сельских электрических сетей / М.А. Прищепов, А.И. Зеленькевич, В.М. Збродыга // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59. – № 3. – С. 355-366.

6. Прищепов, М.А. Работа трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при несимметричной нагрузке / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленькевич // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 25-31.

7. Прищепов, М.А. Работа трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при нелинейном характере нагрузки / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленькевич // Агропанорама. – 2018. – № 1. – С. 9-19.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.01.2022

Технологическая линия для производства рассады овощных культур

Линия ***предназначена*** для удаления древесных остатков из торфа, приготовления субстрата, включая измельчение и просеивание торфа, увлажнение, смешивание торфа с минеральными удобрениями, известковым материалом и перлитом, заполнение кассет субстратом, уплотнение его в ячейках, формирование лунок в субстрате, однозерновый высев, заделку семян и их увлажнение.

Линия осуществляет однозерновый высев семян капусты, редиса, томата, перца и др. культур и выполнена в трехмодульном варианте, каждый из них может работать в отдельности.

Основные технические данные

Производительность (по заполнению кассет), шт./час.....…...……360
Производительность (по высеву семян):
- в кассеты на 64 ячейки, тыс. шт./час ……..23
- в кассеты на 144 ячейки, тыс.шт./час ……..…...…52
Потребляемая мощность, кВт ……..……...……6
Тип высевающего аппарата ……..…...……..вакуумный

УДК 621.314.213

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ И НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРА СО СХЕМОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ»

М.А. Прищепов,
профессор каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ, докт. техн. наук, доцент

А.И. Зеленькевич,
ст. преподаватель каф. электроснабжения БГАТУ

В.М. Збродыга,
зав. каф. электроснабжения БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В работе выполнена оценка экономической эффективности замены силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» на трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» для снижения несинусоидальности и несимметрии напряжений.

Ключевые слова: трансформатор, потери активной мощности при несимметрии и несинусоидальности напряжения, схема соединения обмоток, кратность снижения срока службы, дополнительные капиталовложения, чистый дисконтированный доход.

The article evaluates the economic efficiency of replacing a power transformer with a "star-star with zero wire" winding connection scheme with a transformer with a "star-double zigzag with zero wire" winding connection scheme to reduce non-sinusoidality and voltage asymmetry.

Key words: transformer, active power losses in case of voltage asymmetry and non-sinusoidality, winding connection scheme, reductiondegree of service life, additional investments, net discounted income.

Введение

Проведенный анализ известных исследований показал, что основными источниками несимметрии напряжений в электрических сетях являются несимметричность нагрузок потребителей, несимметрия элементов электрической сети и неполнофазные режимы работы электрооборудования. Источниками искажения синусоидальности кривой напряжения в системах электроснабжения являются потребители с нелинейными вольт-амперными характеристиками: преобразователи частоты на полупроводниковых элементах, сварочные трансформаторы, электродуговые печи, вентильные преобразователи, однофазные электродвигатели с регуляторами напряжения на базе тиристоров и др. Несимметричные режимы напряжений приводят к появлению токов обратной и нулевой последовательности, которые увеличивают значения суммарных токов в отдельных фазах элементов электрической сети, что вызывает увеличение потерь активной составляющей мощности, в том числе и в ЛЭП. Искажение синусоидальности кривой напряжения в системах электроснабжения обусловлено наличием высших гармонических составляющих напряжения. Величина высших гармонических составляющих зависит от значений соответствующих токов высших гармонических составляющих. Большое влияние оказывают также частотные характеристики отдельных элементов электрической сети. Наличие высших гармонических составляющих на отдельных электроприемниках и в системе электроснабжения в целом обуславливает снижение в них эффективности процессов производства, передачи и потребления электроэнергии, ухудшение характеристик изоляции проводов и кабелей [1-9]. Протекающие по обмоткам трансформатора несинусоидальные токи, из-за явления поверхностного эффекта, приводят к увеличению значения активного сопротивления обмоток трансформатора и дополнительному их нагреву. Вихревые токи в обмотках трансформатора, причиной возникновения которых являются гармоники высоких частот, обуславливают дополнительные потери мощности, составляющие до 60-70 % в общих потерях. Это вызывает избыточный нагрев и снижение срока работы трансформатора.

С целью снижения несимметрии и несинусоидальности напряжений в сельских электрических сетях, обладающих сравнительно низкой плотностью и ярко выраженными пиками и провалами электрических нагрузок, эксплуатирующихся в условиях агрессивной внешней среды, наиболее целесообразным является применение относительно недорогостоящих и надежных по конструктивному исполнению транс-

форматоров с разработанной авторами схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом», которая обеспечивает возможность параллельной работы с трансформаторами нулевой группы соединений обмоток, компенсирует магнитные потоки нулевой последовательности и магнитные потоки высших гармонических составляющих, кратных трем, в стали стержней магнитопровода [8; 10-13].

Целью работы является экономическая оценка эффективности применения силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» для снижения несинусоидальности и несимметрии напряжений в сельских электрических сетях.

Основная часть

При экономической оценке эффективности замены силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» ($Y/Y_н$) на силовой трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» ($Y/2Z_н$) в сельских электрических сетях, рассмотрен эффект от снижения несинусоидальности и несимметрии напряжения применительно к самому массовому силовому трансформатору типа ТМГ мощностью 100 кВ·А на напряжение 10/0,4 кВ. Экономический эффект в линиях электропередачи и у потребителя не учитывался.

Технико-экономические показатели вычислялись для следующих вариантов:

1) – использование в электроснабжающей сети трансформатора со схемой соединения обмоток $Y/Y_н$ (индекс 1);

2) – использование в в электроснабжающей сети трансформатора с разработанной схемой соединения обмоток $Y/2Z_н$ (индекс 2).

При искажении симметрии и синусоидальности напряжения в трансформаторах возникают дополнительные потери активной мощности, согласно [14]:

$$\Delta P = \left(k' k_{2U}^2 + k'' \sum_{\upsilon=2}^{\infty} \frac{1+0,05\upsilon^2}{\upsilon\sqrt{\upsilon}} U_\upsilon^2 \right) S_н, \qquad (1)$$

где $k' = 2,67,\ k'' = 1,62$ – коэффициенты, величина которых зависит от назначения и уровня номинального напряжения электрооборудования, о.е.;

k_{2U} – коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности, о.е.;

U_υ – величина относительного напряжения υ-й гармоники, о.е.;

υ – порядковый номер гармоники напряжения;

$S_н$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Обусловленное несимметрией и несинусоидальностью напряжений снижение срока службы, определяется по формуле:

$$\gamma = e^{k_{иск}}, \qquad (2)$$

где $k_{иск}$ – значение коэффициента искажения напряжения, о.е..

Для силовых трансформаторов, согласно [14], его значение равно:

$$k_{иск} = d' k_{2U}^2 + d'' \sum_{\upsilon=2}^{\infty} \frac{1+0,05\upsilon^2 + \frac{1,7}{\sqrt{\upsilon}}}{\upsilon\sqrt{\upsilon}} U_\upsilon^2, \qquad (3)$$

где $d' = 610,\ d'' = 207$ – коэффициенты, которые определяются исходя из назначения и номинального напряжения оборудования, о.е..

Эффективность снижения дополнительных потерь активной мощности от искажения симметрии и синусоидальности питающего напряжения в электрооборудовании равна:

$$Э_m = (\Delta P_1 - \Delta P_2) c_Э T_Э, \qquad (4)$$

где $c_э$ – стоимость электрической энергии, руб/кВт·ч;

$T_э$ – время потерь, ч.

Величина потерь холостого хода P_x и короткого замыкания $P_к$, зависящая от соотношения длины окружности осевого канала между первичными и вторичными обмотками к высоте стержня магнитопровода β, магнитной индукции в стали магнитопровода, плотности токов в первичной и вторичной обмотках, материала проводников, в разработанном трансформаторе со схемой соединения обмоток $Y/2Z_н$ отличается от соответствующих потерь в трансформаторе со схемой соединения обмоток $Y/Y_н$. Эффект от изменения величины потерь в силовом трансформаторе определим по выражению:

$$Э_m = ((\Delta P_1 - \Delta P_2) + (P_{к1} - P_{к2}) + \\ +(P_{x1} - P_{x2})) c_Э T_Э, \qquad (5)$$

где $P_к$ – величина нормативных потерь холостого хода трансформатора, кВт;

P_x – величина нормативных потерь короткого замыкания трансформатора, кВт.

Величина ежегодных амортизационных издержек, которая включает издержки из-за снижения срока службы изоляционных материалов в трансформаторе, обусловленные некачественным напряжением, определяется по выражению [14]:

$$И_a = 0,094 K\gamma, \qquad (6)$$

где K – капиталовложения в силовой трансформатор, руб.

Стоимость в Республике Беларусь силового трансформатора мощностью 100 кВА на напряжение 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток $Y/Y_н$ бралась из открытых источников. Для трансформатора со схемой соединения обмоток $Y/2Z_н$ стоимость принималась по результатам оптимизационных расчетов, проведенных авторами в источнике [15], при существующих значениях стоимости электроэнергии, алюминия и электротехнической стали.

Все другие составляющие эксплуатационных издержек приняты неизменными.

Величина дополнительных капитальных вложений при применении трансформатора со схемой соединения обмоток Y/2Z$_н$ вместо схемы Y/Y$_н$ равна, руб.:

$$\Delta K_{тр} = K_2 - K_1. \quad (7)$$

Годовой доход от замены силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулевым проводом» на разработанный трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» в сельских электрических сетях равен, руб.:

$$Д_г = Э_т + (И_{a1} - И_{a2}). \quad (8)$$

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) от замены силового трансформатора, руб.:

$$ЧДД = \sum_{i=1}^{n} (Д_{гi}\alpha_i) - \Delta K_{тр}, \quad (9)$$

где α_i – коэффициент дисконтирования, т.е. приведения к началу расчетного периода.

Коэффициент дисконтирования определяется по выражению, о.е.:

$$\alpha_i = \frac{(1+E)^T - 1}{E(1+E)^T}, \quad (10)$$

где E – банковская ставка долгосрочного кредитования, которая принималась равной ставке рефинансирования в Беларуси (E=0,0775), о.е.;

T – значение среднего амортизационного срока службы рекомендуемого трансформатора, лет.

Коэффициент возврата дополнительных капвложений на замену силового трансформатора, о.е.:

$$P_в = \frac{\sum_{i=1}^{n} Д_{гi}}{\Delta K_{тр}} - E. \quad (11)$$

Срок возврата дополнительных капитальных вложений на замену силового трансформатора, лет:

$$T_в = \frac{\lg(1 + \frac{E}{P_в})}{\lg(1+E)}. \quad (12)$$

Расчеты производились при 30 %, 50 %, 70 % и 100 %-й загрузке трансформаторов для следующих режимов нагрузки:

1. Величина тока в одной из фаз изменялась в пределах от 0,0 до 1,2 $I_н$, а в двух других фазах была равна номинальному $I_н$;
2. Величина тока в одной из фаз изменялась в пределах от 0,0 до 1,2 $I_н$, в другой фазе была равна нулю, в третьей фазе – номинальной $I_н$;
3. Величина тока в одной из фаз изменялась в пределах от 0,0 до 1,2 $I_н$, а в двух других фазах была равна нулю.

Значения относительного напряжения υ-й гармоники U_υ при различной загрузке трансформаторов использовалось из проведенных авторами экспериментальных исследований [8; 13; 16, 17].

Результаты проведенных расчетов представлены в таблице 1 и на рисунках 1-4.

Таблица 1. Технико-экономические показатели

Степень загрузки трансформатора I/Iн	Схема соединений	Дополнительные потери от некачественного напряжения ΔP, кВт	Стоимость суммарных потерь электроэнергии, руб.	Кратность снижения срока службы от некачественного напряжения γ, о.е.	Снижение стоимости суммарных потерь электроэнергии ΔЭ, руб.	Годовой доход от замены трансформатора Дг, руб.	Чистый дисконтированный доход от замены трансформатора (ЧДД), руб.	Срок возврата капиталовложений Тв, лет
Режим 1 (I_a = 0…1,2 $I_н$, I_b = $I_н$, I_c = $I_н$)								
30%	Y/Yн	0,14138	4901,5	1,436	168,72	202,43	1307,85	5,66
	Y/2Zн	0,04113	4732,8	1,197				
50%	Y/Yн	0,07918	4770,7	1,197	80,73	127,42	489,72	5,85
	Y/2Zн	0,02078	4690,0	1,048				
70%	Y/Yн	0,04195	4692,5	1,100	25,68	90,28	84,67	7,67
	Y/2Zн	0,00974	4666,8	1,022				
100%	Y/Yн	0,02181	4650,1	1,015	3,29	84,01	16,23	8,10
	Y/2Zн	0,00025	4646,8	1,001				
Режим 2 (I_a = 0, I_b = 0…1,2 $I_н$, I_c= $I_н$)								
30%	Y/Yн	0,12936	4876,2	1,342	139,24	165,1	900,8	4,72
	Y/2Zн	0,04314	4737,0	1,103				
50%	Y/Yн	0,06517	4741,3	1,160	48,25	106,8	264,9	6,73
	Y/2Zн	0,02221	4693,0	1,052				
70%	Y/Yн	0,13540	4888,9	1,361	156,04	174,9	1007,7	4,50
	Y/2Zн	0,04118	4732,9	1,098				
100%	Y/Yн	0,27374	5179,8	1,864	363,09	448,0	3 986,6	1,94
	Y/2Zн	0,08104	4816,7	1,202				
Режим 3 (I_a = 0, I_b = 0, I_c = 0…1,2 $I_н$)								
30%	Y/Yн	0,03923	4686,7	1,093	21,39	87,3	52,2	7,87
	Y/2Zн	0,00905	4665,3	1,021				
50%	Y/Yн	0,08103	4774,6	1,202	83,62	129,3	510,2	5,78
	Y/2Zн	0,02125	4691,0	1,049				

Продолжение таблицы 1

Степень загрузки трансформатора I/Iн	Схема соединений	Дополнительные потери от некачественного напряжения ΔP, кВт	Стоимость суммарных потерь электроэнергии, руб.	Кратность снижения срока службы от некачественного напряжения γ, о.е.	Снижение стоимости суммарных потерь электроэнергии ΔЭ, руб.	Годовой доход от замены трансформатора Дг, руб.	Чистый дисконтированный доход от замены трансформатора (ЧДД), руб.	Срок возврата капиталовложений Тв, лет
70%	Y/Yн	0,14148	4901,7	1,379	174,29	185,4	1122,4	4,28
	Y/2Zн	0,03858	4727,4	1,092				
100%	Y/Yн	0,26358	5158,4	1,821	355,14	434,4	3838,0	1,99
	Y/2Zн	0,07466	4803,3	1,185				

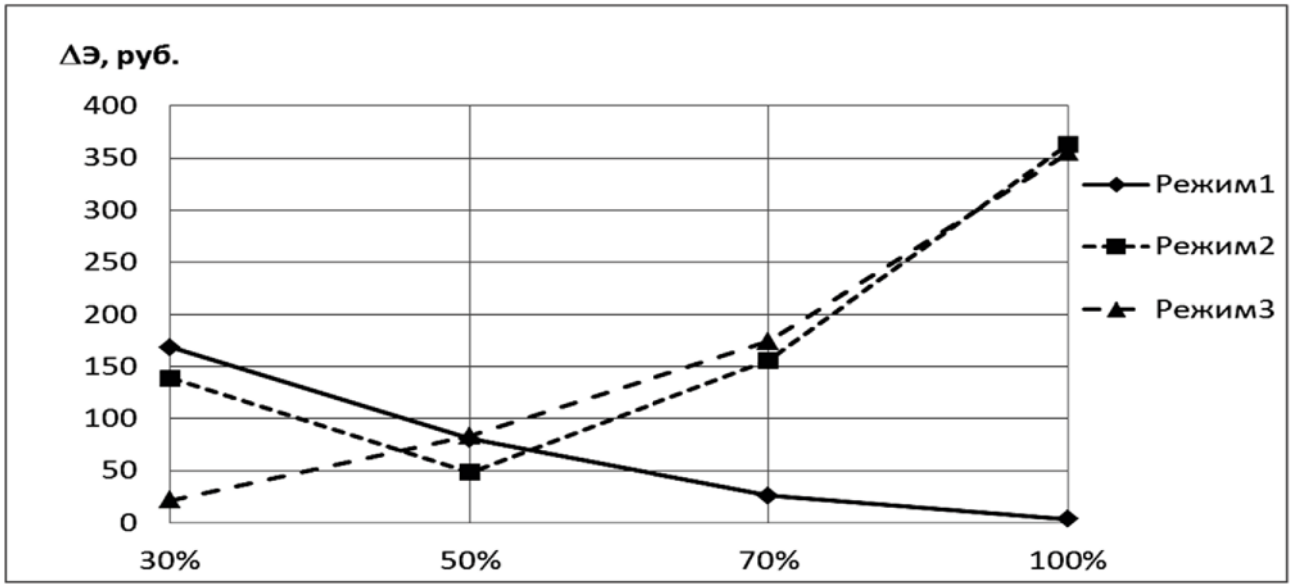


Рисунок 1. Зависимость снижения стоимости суммарных потерь электроэнергии ΔЭ от степени загрузки трансформатора для различных режимов при замене трансформатора со схемой соединения обмоток Y/Yн на Y/2Zн

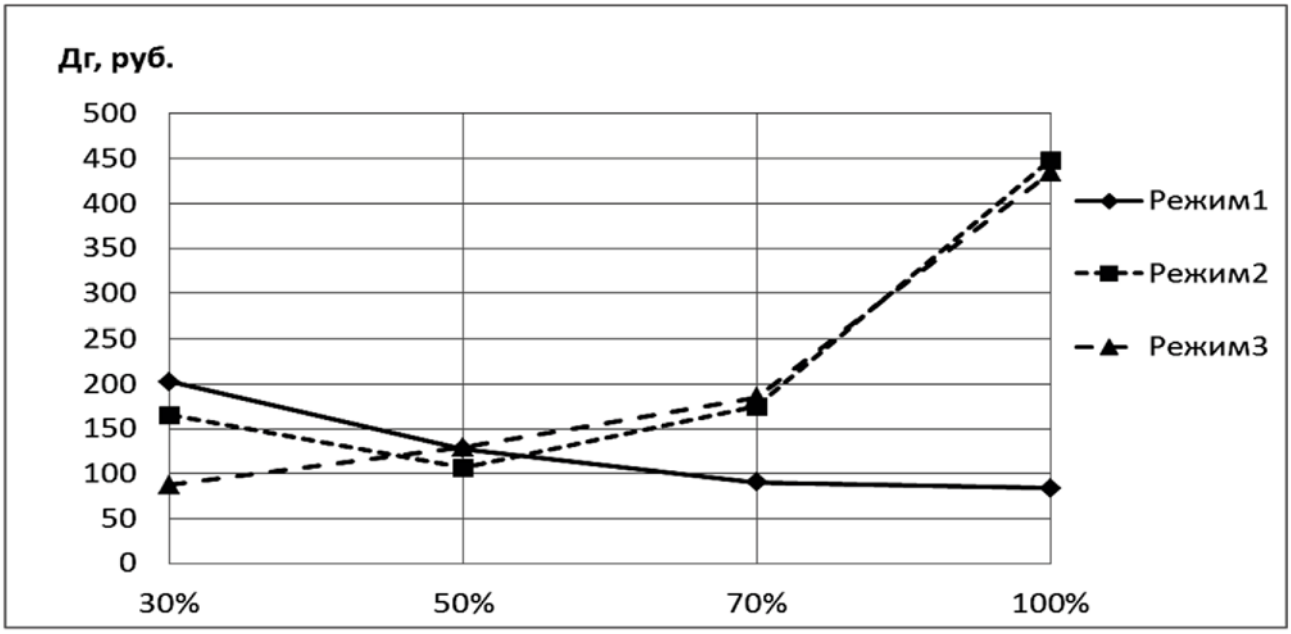


Рисунок 2. Зависимость годового дохода Дг от степени загрузки трансформатора для различных режимов при замене трансформатора со схемой соединения обмоток Y/Yн на Y/2Zн

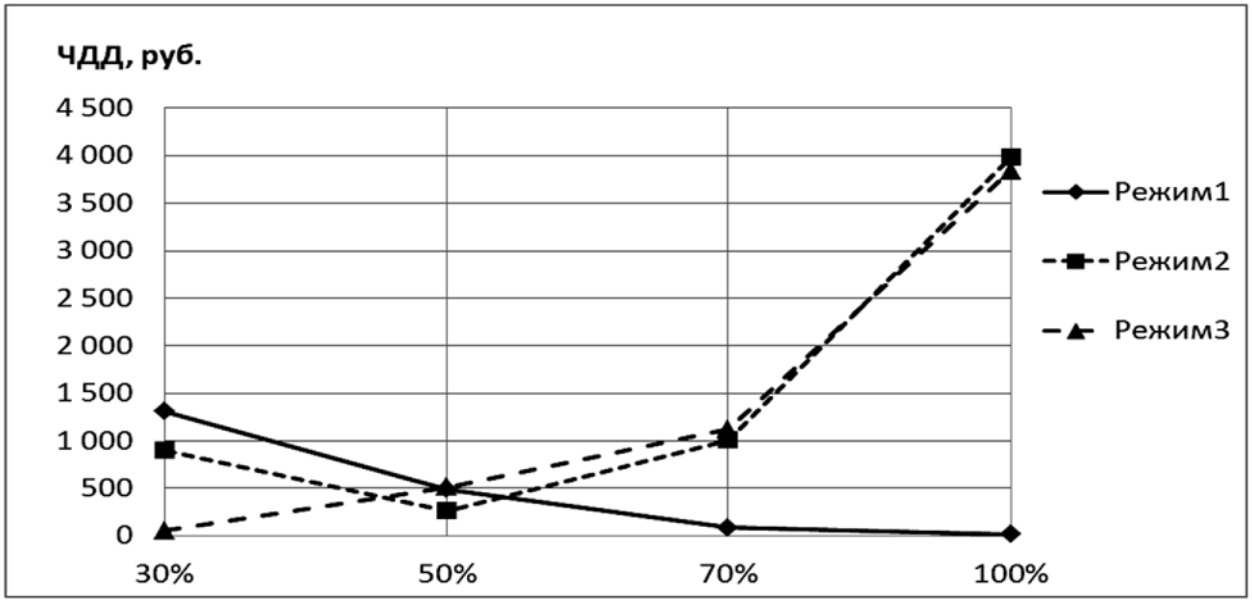


Рисунок 3. Зависимость чистого дисконтированного дохода ЧДД от степени загрузки трансформатора для различных режимов при замене трансформатора со схемой соединения обмоток Y/Yн на Y/2Zн

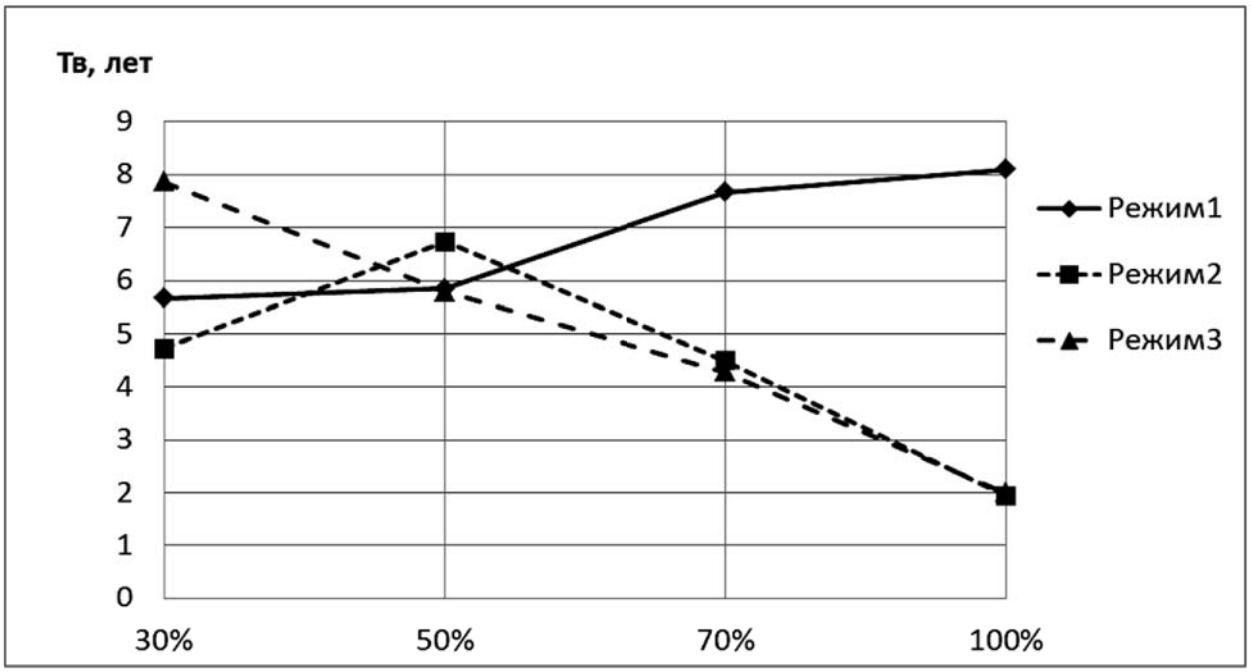


Рисунок 4. Зависимость срока возврата капиталовложений Тв от степени загрузки трансформатора для различных режимов при замене трансформатора со схемой соединения обмоток Y/Yн на Y/2Zн

Заключение

Результаты проведенных расчетов показывают экономическую эффективность применения в сельских электрических сетях силового трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» для снижения уровней несимметрии и несинусоидальности питающих напряжений. Это подтверждается тем, что годовой доход от замены трансформатора составит 84,01 руб…448 руб. Чистый дисконтированный доход – 16,23 руб…3986,6 руб. Срок возврата дополнительных капвложений – 1,94…8,1 года. Срок службы изоляционных материалов трансформатора увеличивается на 7 %...55 %, дополнительные потери активной мощности, вызванные искажением симметрии и синусоидальности питающих напряжений, уменьшаются на 1,93 %...3,33 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вагин, Г.Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике / Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов. – Нижний Новгород: Изд-во НГТУ, 2004. – 216 с.

2. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий / И.В. Жежеленко. – 5-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 358 с.

3. Непомнящий, В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей / В.А. Непомнящий. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 188 с.

4. Шваб, А. Электромагнитная совместимость: пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектора; под ред. Кужекина. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 480 с.: ил.

5. Хабигер, Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: пер с нем. / И.П. Кужекин; под ред. Б.К. Максимова. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 304 с.: ил.

6. Куско, А. Качество энергии в электрических сетях/ А. Куско, М. Томпсон. – Москва: «Додека-XXl», 2008. – 333 с.

7. Жежеленко, И.В. Электромагнитная совместимость в электрических сетях / И.В. Жежеленко, М.А. Короткевич – Мн.: Вышэйшая школа, 2012. – 197 с.

8. Прищепов, М.А. Перспективный силовой трансформатор с улучшенными характеристиками для сельских электрических сетей / М.А. Прищепов, А.И. Зеленькевич, В.М. Збродыга // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59. № 3. – С. 355-366.

9. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.

10. Прищепов, М.А. Особенности преобразования электрической энергии в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленькевич // Агропанорама. – 2017. – № 5. – С. 16-25.

11. Прищепов, М.А. Работа трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при несимметричной нагрузке / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленькевич // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 25-31.

12. Прищепов, М.А. Работа трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при нелинейном характере нагрузки / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленькевич // Агропанорама. – 2018. – № 1. – С. 9-19.

13. Прищепов, М.А. Использование силовых трансформаторов с улучшенными характеристиками в сельских электросетях, питающих несимметричные и нелинейные нагрузки / М.А. Прищепов, А.И. Зеленькевич, В.М. Збродыга // Энергетическая стратегия. – 2021. – № 4 (82) – С. 50-53.

14. Шидловский, А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. – Киев: Навукова думка, 1985. – 267 с.

15. Прищепов, М.А. Технико-экономическая оптимизация конструктивных параметров трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» / М.А. Прищепов, А.И. Зеленькевич, В.М. Збродыга // Агропанорама. – 2021. – № 2. – С. 24-29.

16. Зеленькевич, А.И. Работа трансформаторов со схемами соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» и «звезда-зигзаг» при однофазной несимметричной нагрузке /А.И. Зеленькевич // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы VII Междунар. науч.-практич. конф., РФ, Саратов / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2020. С. 23-26.

17. Зеленькевич, А.И. Результаты исследований работы трансформаторов с различными схемами соединения обмоток при однофазной несимметричной нагрузке / А.И. Зеленькевич //Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы 8-й Междунар. науч.-практич. конф., Саратов, 21-22 апреля 2021 г./ ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ; редкол.: А.В. Русинов [и др.]. – Саратов: Амирит, 2021. – С. 4-8.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.01.2022

УДК 338.14

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ

Т.А. Тетеринец,
доцент каф. экономики и организации предприятий АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент

Д.А. Чиж,
доцент каф. почвоведения и геоинформационных систем БГУ, канд. экон. наук, доцент

Выявление социально-экономических потерь устойчивого развития регионов Беларуси выступает завершающим этапом комплексной системы оценки территориальных рисков. В статье представлена схема региональных индикаторов, отражающая алгоритм количественной оценки социально-экономического ущерба. Предложен методический подход, позволяющий определить стоимостную величину упущенных выгод, обусловленных отсутствием региональных стратегий предотвращения рисков устойчивого развития.

Ключевые слова: методический подход, оценка, риски, упущенная выгода, регионы.

The identification of socio-economic losses of sustainable development of Belarus regions is the final stage of a complex system for assessing territorial risks. A scheme of regional indicators reflecting the algorithm of quantitative assessment of socio-economic damage is presented in the article. A methodological approach is proposed to determine the value of lost benefits due to the lack of a regional strategy for preventing risks of sustainable development.

Key words: methodological approach, assessment, risks, lost profits, regions.

Введение

Региональные стратегии предотвращения рисков устойчивого развития направлены на обеспечение сбалансированного пространственного развития Республики Беларусь, основанного на сокращении межрегиональных различий в уровне и качестве жизни населения, ускорении темпов экономического роста и технологического развития, а также обеспечении национальной безопасности страны. Исходя из этого, важным этапом их разработки является обоснование методического подхода, позволяющего оценить величину социально-экономических потерь устойчивого развития регионов Беларуси в случае их отсутствия.

Основная часть

Логическим продолжением исследований, направленных на выявление и предотвращение рисков устойчивого развития регионов, является количественная оценка социально-экономических потерь, обусловленная отсутствием соответствующих территориальных стратегий. В наиболее широком трактовании под социально-экономическими потерями понимают величину упущенной выгоды (альтернативных издержек) вследствие вариантного выбора использования ресурсов [1]. В контексте проводимого исследования это понятие наиболее целесообразно рассматривать сквозь призму макропоказателей, учитывающих вид риска и систему критериев, его формирующих.

Принимая во внимание объект (регионы Республики Беларусь) и конечную цель проведенного исследования – оценку упущенной выгоды устойчивого развития регионов Беларуси, целесообразным является дифференцировать потенциальные угрозы, исходя из необходимости устранения последствия наступления рисков. В этой связи риски устойчивого развития регионов предлагается ранжировать как:

– допустимые риски (Д), под которыми понимается уровень риска развития неблагоприятного эффекта, не требующий дополнительных мер по его снижению, и оцениваемый как незначительный по отношению к рискам, существующим в деятельности людей и функционирования территорий;

– интенсивные риски (И), связанные с подверженностью большого количества людей и территорий с активной хозяйственной деятельностью к интенсивным угрозам, что может привести к серьезным социально-экономическим последствиям [2].

Анализ литературных источников позволяет отметить достаточное количество методических подходов оценки региональных угроз. Вместе с тем, широта взглядов многих ученых в большинстве своем конкретизирует внимание на изучении и мониторинге определенных типов рисков, не учитывая их взаимосвязь [3-5]. В этой связи, основной задачей проводимого исследования является разработка методического подхода, обеспечивающего наряду с ранжированием и оценкой рисков, определение величины упущен-

ной выгоды вследствие отсутствия стратегий предотвращения угроз устойчивого развития регионов Республики Беларусь.

Полученные и опубликованные ранее научные результаты [6-7] позволили сформировать исходную аналитическую платформу структурирования территорий, исходя из возможности появления риска и выявления типов угроз, требующих количественной оценки.

Представленный в таблице 1 реестр позволяет конкретизировать территории и типы рисков, требующих количественной оценки величины социально-экономических потерь, в случае, если не будут разработаны и реализованы региональные стратегии предотвращения угроз устойчивого развития.

Практическое решение данной задачи предполагает определение методики исследования, основанной на выявленных факторах, обуславливающих возникновение региональных рисков, и показателях, определяющих количественную меру воздействия негативного события. На рисунке 1 представлена методологическая схема региональных индикаторов социально-экономических потерь вследствие отсутствия механизмов, мер и направлений, способствующих предотвращению и ликвидации угроз устойчивого развития.

Представленная модель региональных индикаторов социально-экономических потерь наглядно отображает механизм выявления упущенной выгоды, учитывающий взаимосвязь выявленных типов рисков устойчивого развития территорий и критериев, их формирующих. Немаловажную роль в этом процессе играет тот факт, что основу исчислений составляет статистическая база официально публикуемых данных, что существенно снижает вероятность математических погрешностей, а также повышает практикоориентированность предлагаемого методического подхода.

Возникновение тех или иных социально-

Таблица 1. Реестр рисков устойчивого развития областей Беларуси

Области	Риски			
	внешнеэкономической деятельности	инновационного развития и модернизации экономики	Развития кадрового потенциала	региональной продовольственной безопасности
Брестская	Д	Д	И	Д
Витебская	И	Д	И	
Гомельская	И	Д	И	Д
Гродненская	И	И	И	И
г. Минск	Д	Д	Д	–
Минская	Д	И	Д	Д
Могилевская	Д	И	И	И
Примечание – составлено авторами.				

Рисунок 1. Методологическая схема региональных индикаторов социально-экономических потерь. Источник – собственная разработка авторов.

экономических потерь обусловлено либо неблагоприятным воздействием факторов внешней и внутренней среды на исследуемое явление, либо отсутствием благоприятных условий, обуславливающих его развитие. Индикатором, отражающим скорость и величину возникновения этого события, выступает коэффициент потерь, характеризующий относительную величину изменения (снижения) количественных параметров рисков устойчивого развития регионов:

$$К^{j}_{П_{ip}} = 1 - Ind^{j}_{ip}, \quad (1)$$

где $К^{j}_{П_{ip}}$ – коэффициент потерь регионального риска *j*-го региона в разрезе *i* -го направления в расчетном периоде;

Ind^{j}_{ip} – индивидуальный индекс регионального риска *j*-го региона в разрезе *i* -го направления в расчетном периоде.

Исходя из чего, расчет величины упущенной выгоды ($П^{j}_{i}$) *j*-го региона в разрезе *i* -го направления осуществляется следующим образом:

$$П^{j}_{i} = ОП^{j}_{i} \times K^{j}_{П_{ip}} / 100, \quad (2)$$

где $ОП^{j}_{i}$ – оценочный параметр регионального риска *j*-го региона в разрезе *i* -го направления.

Основываясь на ранее проведенных расчетах оценки региональных рисков устойчивого развития, становится возможным определить величину упущенной выгоды [6-7]. Исходные данные для выявления ее размера вследствие возникновения различных типов рисков по итогам 2019 г. представлены в таблицах 2–5. В них отражены регионы, для которых характерно наличие того или иного типа риска, и дана его количественная оценка.

Одним из показателей оценки упущенной выгоды вследствие возникновения риска внешнеэкономической деятельности выступает внешнеторговый оборот товарами и услугами в разрезе регионов Беларуси. Учитывая их неоднозначное влияние на искомую величину, торговая зависимость экономики областей страны от оборота внешней торговли определяется как средневзвешенная величина товаров и услуг.

Расчеты показывают, что итоговое значение потерь вследствие возникновения риска внешнеэкономической деятельности в Витебской, Гомельской и Гродненской областях в совокупности составляет 4113,62 млн долл. США, распределяясь между регионами как 52,5 %, 42,0 и 5,5 % соответственно.

Исходные данные для выявления размера упущенной выгоды вследствие возникновения риска инновационного развития и модернизации экономики представлены в таблице 3.

Суммарная величина потерь вследствие возникновения риска инновационного развития и модернизации экономики в Гродненской, Минской и Могилевской областях в совокупности составляет 365,1 млн руб., распределяясь между регионами как 20,4 %, 70,6 и 9,0 % соответственно.

Исходные данные для выявления размера упущенной выгоды вследствие возникновения риска развития кадрового потенциала представлены в таблице 4.

Конечный размер потерь вследствие возникновения риска инновационного развития и модернизации экономики в Брестской, Витебской, Гомельской, Гродненской и Могилевской областях в совокупности составляет 3 746,96 млн руб., распределяясь между регионами как 12,9 %, 27,1, 19,1, 8,1 и 32,8 % соответственно.

Исходные данные для выявления размера упущенной выгоды вследствие возникновения риска региональной продовольственной безопасности представлены в таблице 5.

Итоговая величина потерь вследствие возникновения риска региональной продовольственной безопасности в Витебской, Гродненской и Могилевской

Таблица 2. Оценка упущенной выгоды вследствие возникновения риска внешнеэкономической деятельности

Показатели	Области		
	Витебская	Гомельская	Гродненская
Торговая зависимость экономики областей Республики Беларусь от оборота внешней торговли товарами и услугами (средневзвешенная величина)	0,54	0,80	0,94
Коэффициент потерь риска внешнеэкономической деятельности	0,46	0,20	0,06
Оборот внешней торговли товарами и услугами, млн долл. США	4739,51	8750,26	3548,90
Величина упущенной выгоды, млн долл. США	2159,52	1731,11	222,99
Примечание – рассчитано авторами на основе [6-7].			

Таблица 3. Оценка упущенной выгоды вследствие возникновения риска инновационного развития и модернизации экономики

Показатели	Области		
	Гродненская	Минская	Могилевская
Риск инновационного развития и модернизации экономики	0,75	0,88	0,93
Коэффициент потерь риска инновационного развития и модернизации экономики	0,25	0,12	0,07
Экспорт инновационной продукции, млн руб.	294,23	2206,19	425,73
Величина упущенной выгоды, млн руб.	74,37	257,87	31,86
Примечание – рассчитано авторами на основе [6-7].			

Таблица 4. Оценка упущенной выгоды вследствие возникновения риска развития кадрового потенциала

Показатели	Области				
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Могилевская
Риск развития кадрового потенциала	0,95	0,87	0,93	0,96	0,82
Коэффициент потерь риска развития кадрового потенциала	0,05	0,13	0,07	0,04	0,18
Располагаемые ресурсы домашних хозяйств, млн руб.	9203,42	7625,10	9647,88	7473,58	6654,54
Величина упущенной выгоды, млн руб.	483,92	1016,05	715,55	304,03	1227,41
Примечание – рассчитано авторами на основе [6-8]					

Таблица 5. Оценка упущенной выгоды вследствие возникновения риска региональной продовольственной безопасности

Показатели	Области		
	Витебская	Гродненская	Могилевская
Риск региональной продовольственной безопасности	0,75	0,94	0,80
Коэффициент потерь риска региональной продовольственной безопасности	0,25	0,06	0,20
Продукция сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий, млн руб.	2554	3412	2377
Величина упущенной выгоды, млн руб.	641,55	205,67	481,11
Примечание – рассчитано авторами на основе [6, 7; 9, 10]			

областях в совокупности составляет 1 328,4 млн руб., распределяясь между регионами как 48,3 %, 15,5 и 36,2 % соответственно.

Таким образом, использование данного методического подхода позволило определить стоимостную величину упущенной выгоды, обусловленной отсутствием системы мер, нацеленных на снижение рисков устойчивого развития регионов Беларуси. В целом, совокупная величина потерь в разрезе всех исследуемых территорий составляет более 9 553,0 млн руб., распределение которой графически представлено на рисунке 2.

Согласно представленным данным, наибольшая концентрация потенциальных угроз и соответственно максимальная величина потерь отмечается в Витебской

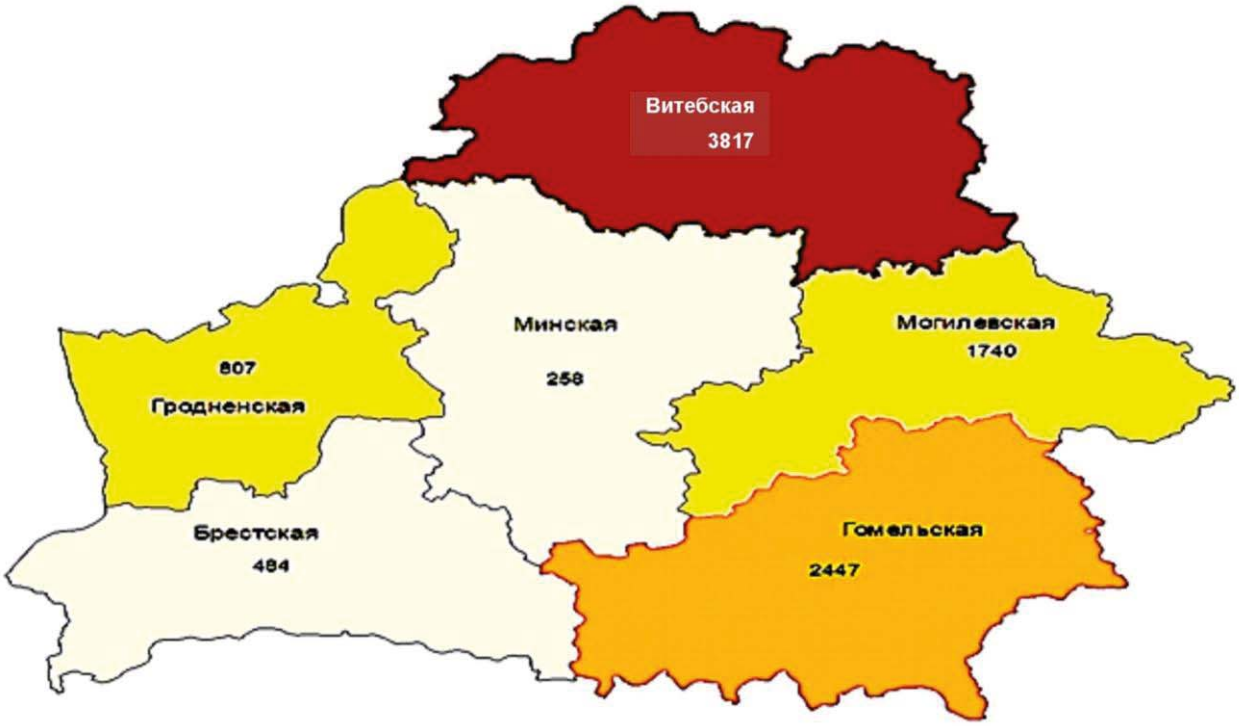


Рисунок 2. Картограмма упущенной выгоды в разрезе областей Беларуси, млн руб.
Источник – составлено авторами.

области, которая составляет более 3,8 млрд руб. или почти 40 % ее совокупной величины. Похожая ситуация отмечается и в Гомельском регионе, фиксирующем четверть потенциальных угроз в стоимостном выражении. Отсутствие региональной стратегии предотвращения рисков устойчивого развития в Могилевской области способствовало недополучению экономикой региона 1 740,0 млн руб., Гродненской области – 807,0 млн руб. Несмотря на сравнительно стабильное положение Брестского и Минского регионов по отношению к иным территориям, величина их потерь в совокупности составила около 742,0 млн руб. или 11 %.

Заключение

Изучение теоретико-методических основ выявления и оценки рисков устойчивого развития регионов, отбор и количественный анализ факторов, определяющих этот процесс, расчет величины упущенной выгоды вследствие возникновения выявленных угроз, формируют научно-практическую базу разработки региональных стратегий предотвращения рисков устойчивого развития территорий Беларуси.

Применение такого методического подхода позволит комплексно оценить воздействие вероятных угроз, сдерживающих устойчивое развитие регионов Беларуси, определить величину потенциальных потерь, что отличает его от существующих методик. Простота использования, в совокупности с доступностью исходной статистической информации, значительно расширяет сферу его практического применения. Полученные конечные результаты будут способствовать нивелированию потенциальных рисков устойчивого развития территорий, и на этой основе способствовать прогрессивному социально-экономическому развитию страны.

Статья подготовлена в рамках выполнения НИР «Оценка рисков устойчивого развития регионов: выявление причин и источников их появления и разработка предложений по предотвращению» (договор с БРФФИ № Г20-116 от 04.05.2020 г.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Корнеева, В.М. Современные методы управления рисками на предприятиях / В.М. Корнеева, С.В. Пупенцова // Проблемы социально-экономического развития Сибири. – 2020. – № 2. – С. 33-38.

2. Национальная стратегия по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь на 2019-2030 годы / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ucp.by/images/file/fpnk/NS1930.pdf. – Дата доступа: 14.10.2021.

3. Шпакова, Р.Н. Стратегии социально-экономического развития регионов: от оценки достижения целей – к оценке эффективности / Р.Н. Шпакова // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mgimo.ru/upload/iblock/dd2/08ECVN219.pdf. – Дата доступа: 11.10.2021.

4. Лямперт, А.Е. Мониторинг и оценка эффективности стратегий устойчивого развития на местном уровне: информационное пособие / А.Е. Лямперт. – Минск: ИВЦ Минфина. – 2018. – 48 с.

5. Кислицына, В.В. Формирование комплексного подхода к оценке социально-экономического развития регионов / В.В. Кислицына, Л.С. Чеглакова, В.М. Караулов, А.Н. Чикишева // Экономика региона. – 2017. – Т. 13. – Вып. 2. – С. 369-380.

6. Тетеринец, Т.А. Оценка рисков устойчивого развития регионов Беларуси / Т.А. Тетеринец, Д.А. Чиж // Экономический вестник университета. – 2021. – Вып. 50. – С. 155-161.

7. Тетеринец, Т.А. Интегральная оценка рисков развития человеческого капитала в проекции городского и сельского населения Беларуси / Т.А. Тетеринец // Агропанорама.– 2021.– № 5. – С. 39-43.

8. Социально-экономическое положение и уровень жизни населения Республики Беларусь / Национальный статистический комитет [Электронный ресурс]. Режим доступа: http:// https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_14043. – Дата доступа: 25.09.2021.

9. Регионы Республики Беларусь: стат. сборник, 2020 / Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_18078/. – Дата доступа: 03.10.2021.

10 Сельское хозяйство Республики Беларусь, 2021: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_39702/ https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_39702/. – Дата доступа: 08.11.2021.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.11.2021

УДК 338.43(476)

ОЦЕНКА ПРОЯВЛЕНИЯ РИСКОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н.В. Киреенко,
зав. каф. инновационного развития АПК Института повышения квалификации и переподготовки кадров АПК БГАТУ, докт. экон. наук, профессор

Л.М. Павлович,
ст. науч. сотр. сектора экономики отраслей Института системных исследований в АПК НАН Беларуси, магистр экон. наук

В статье представлены результаты научного исследования по выявлению тенденций и закономерностей проявления рисков, оказывающих сдерживающее или негативное влияние на функционирование сельского хозяйства Республики Беларусь. Идентифицированы ретроспективные риски и изучены периоды их проявления (2005-2020 гг.). На основе рейтинговой оценки по масштабу распространения и величине последствий рисковых ситуаций определен уровень влияния негативных событий на развитие национального сельскохозяйственного производства и комплекс вызовов, требующих постоянного мониторинга.

Ключевые слова: риск, идентификация, сельское хозяйство, рейтинговая оценка, балльная оценка, ранг рисков.

The article presents the results of a scientific study to identify trends and risks mechanisms that have a deterrent or negative impact on the agriculture in the Republic of Belarus. Retrospective risks were identified and the periods of their occurrence (2005-2020) were studied. Based on the rating assessment in terms of the scale of distribution and the magnitude of the consequences of risk situations, the level of influence of negative events on the development of national agricultural production and a set of challenges requiring constant monitoring was determined.

Key words: risk, identification, agriculture, rating, scoring, risk rank.

Введение

Повышение конкурентоспособности сельского хозяйства при сохранении продовольственной безопасности страны входит в число приоритетов государственной экономической политики Республики Беларусь [1-4]. В настоящее время аграрный бизнес обеспечивает 6,8 % валового внутреннего продукта (ВВП) страны, 5,8 млрд долл. США выручки от реализации товаров на внешнем рынке. За период 2005-2020 гг. стоимость продукции сельского хозяйства выросла в 17,7 раз и составила 22 749 млн руб. Увеличились объемы производства зерна, маслосемян рапса, сахарной свеклы, молока, мяса [5].

Тем не менее, сельское хозяйство постоянно сталкивается с явлениями, сдерживающими его эффективное развитие, в числе которых отмечаются: учащение случаев аномальных климатических и агрометеорологических явлений; неустойчивая эпизоотическая ситуация; рост стоимости промышленных товаров и услуг, используемых при производстве аграрной продукции; повышение инфляции; усиление оттока трудовых ресурсов и др. [6]. Для их оценки требуется выработка методического подхода, позволяющего проводить комплексный анализ по выявлению тенденций и закономерностей проявления рисков в сельском хозяйстве Республики Беларусь и обосновывать стратегические направления его развития на основе упреждающего антирискового управления. Решение данной проблемы и определило цель, задачи и полученные результаты, представленные в статье.

Научное исследование базировалось на данных Национального статистического комитета Республики Беларусь, Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, изучении и обобщении методических подходов в отечественной и зарубежной литературе, национальной нормативной и правовой базы в сфере развития аграрного бизнеса и сельского хозяйства. Использованы методы системного и сравнительного анализа.

Основная часть

Риск – предполагаемое событие, наступление которого способно привести к потерям субъектом хозяйствования ресурсов (труда, земли, технологий, капитала, времени, знаний) и/или экономических выгод. В связи со специфическими особенностями проявления в аграрном секторе рыночных законов его участники подвержены наибольшему по сравнению с другими видами экономической деятельности влиянию факторов, приводящих к возникновению рисковых ситуаций [7, 8].

Разработанный авторами методический подход базируется на проведении комплексного структурно-динамического анализа условий, особенностей и ре-

зультатов сельского хозяйства республики и обоснованном выделении реализованных рисковых ситуаций. В совокупности это позволяет системно рассматривать и учитывать количественно-качественную динамику внутренней и внешней среды функционирования сельскохозяйственных производителей, а также выполнять объективный долгосрочный прогноз развития отрасли.

На *первом этапе* в целях определения обстоятельств, оказавших заметное ограничительное влияние на сельское хозяйство Республики Беларусь в 2005-2020 гг., авторами выделен перечень показателей, значения которых вне диапазона безрисковой зоны свидетельствуют о наступлении риска. Использование указанного подхода позволило выявить спектр причин природного, производственного, экономического и социального направления, которые объединены в соответствующие группы по сфере возникновения (табл. 1).

Таблица 1. Индикаторы наступления рисков в сельском хозяйстве Республики Беларусь, 2005-2020 гг.

Анализируемый показатель	Значение показателя в безрисковой зоне	Наименование риска
Природно-климатические риски		
Отклонение среднегодовой температуры воздуха от нормы, °С	≤1,0	Аномальная температура воздуха
Отношение среднегодового количества выпавших осадков к норме, %	96–105	Аномальное количество атмосферных осадков
Частота наступления опасных агрометеорологических явлений, случаев в год	≤1	Наступление опасных агрометеорологических явлений
Технико-технологические риски		
Внесено минеральных удобрений в расчете на 1 га пахотных земель кг		Несоблюдение норм расхода и сбалансированности внесения минеральных удобрений
Внесено органических удобрений в расчете на 1 га пахотных земель, т	9,5–9,9	Несоблюдение норм расхода органических удобрений
Отношение фактического расхода кормов на 1 голову животных к нормативному, %	≤105,0	Несоблюдение норм расхода кормов и сбалансированности рационов кормления животных
Использовано средств защиты растений в расчете на 1 га пашни, кг	2,00-2,49	Несоблюдение норм расхода, своевременности внесения средств защиты растений
Темп роста условного поголовья, %	≥100,0	Несоблюдение ветеринарно-санитарных требований
Энергообеспеченность в расчете на 100 га посевной площади, л. с.	≥400	Снижение энергообеспеченности сельскохозяйственных организаций
Коэффициент обновления основных средств, %	≥10,0	Снижение уровня обновления основных средств
Торгово-экономические риски		
Приходится расходов на реализацию на 100 руб. выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг, руб.	≤0,5	Рост уровня расходов на реализацию продукции
Индекс цен на промышленную продукцию, работы и услуги, используемые сельскохозяйственными организациями:	≤100,0	Рост стоимости промышленной продукции, используемой сельскохозяйственными организациями:
семена и посадочный материал покупные	≤100,0	семена и посадочный материал
корма покупные	≤100,0	корма
минеральные удобрения	≤100,0	минеральные удобрения
средства защиты растений	≤100,0	средства защиты растений
запасные части, ремонтные, строительные и прочие материалы для ремонтов	≤100,0	запасные части, ремонтные, строительные и прочие материалы для ремонтов
перевозка грузов	≤100,0	перевозка грузов
улучшение земель, химизация почв и другие агротехнические работы	≤100,0	улучшение земель, химизация почв и другие агротехнические работы
ремонт техники	≤100,0	ремонт техники
зоотехническое и ветеринарное обслуживание	≤100,0	зоотехническое и ветеринарное обслуживание

Продолжение таблицы 1

Анализируемый показатель	Значение показателя в безрисковой зоне	Наименование риска
нефтепродукты	≤100,0	нефтепродукты
газ	≤100,0	газ
другие виды топлива	≤100,0	другие виды топлива
электроэнергия	≤100,0	электроэнергия
Макроэкономические риски		
Темп роста белорусского рубля по отношению к доллару США, %	≤102,0	Рост курса белорусского рубля по отношению к доллару США
Индекс паритета цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, %	≤100,0	Усиление паритета цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию
Индекс потребительских цен, %	≤105,0	Рост инфляции
Социальные риски		
Темп сокращения численности работников в среднем за год, %	≤1,0	Усиление оттока работников
Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата работников, занятых в сельском хозяйстве, в % к среднереспубликанскому уровню	≥100,0	Степень отставания оплаты труда работников в сельском хозяйстве по отношению к среднереспубликанскому уровню
Реальная заработная плата работников, занятых в сельском хозяйстве, в % к предыдущему году	≥100,0	Снижение реальной заработной платы работников в сельском хозяйстве
Примечание – Таблица составлена авторами по результатам собственных исследований.		

На *втором этапе* для установления уровня влияния обнаруженных опасностей и угроз разработана балльная шкала оценки рисковых ситуаций по масштабу проявления и величине потерь для сельскохозяйственных производителей (табл. 2). По первому критерию риски оценены за каждый год рассматриваемого временного диапазона, по второму – в среднем за период, исходя из специфики и результатов влияния на отрасль и ее субъектов.

На основании результатов балльной оценки авторами произведен расчет индивидуальных рейтинговых оценок рисков (*третий этап)* по следующей формуле:

$$RR_i = \sqrt{S_i \cdot D_i},$$

где RR_i – рейтинговая оценка i-го риска, $RR_i^{\max} = 10$;

S_i – балльная оценка масштаба распространения i-го риска в отрасли за отдельный год;

D_i – балльная оценка величины потерь от i-го риска в отрасли за отдельный год.

По итогам расчета рейтинговых оценок негативных ситуаций определены виды и группы рисков, обладающих сравнительно наибольшим сдерживающим влиянием на сельское хозяйство Республики Беларусь в 2005-2020 гг. Существенным деструктивным потенциалом отличаются: несоблюдение норм расхода кормов и сбалансированности рационов кормления животных (рейтинговая оценка 6,4 баллов); степень отставания заработной платы работников отрасли от средней по республике (4,5 баллов); аномальная температура воздуха (3,9 баллов); несоблюдение норм расхода, своевременности использования средств защиты растений (3,8 баллов); рост инфляции (3,8 баллов) (табл. 3).

В ходе *четвертого этапа* на основе совокупной рейтинговой оценки групп рисковых ситуаций проведено их ранжирование по степени ограничительного воздействия на развитие отечественного АПК и уста-

Таблица 2. Балльная шкала оценки рисков в сельском хозяйстве на национальном уровне

Балльная шкала	Критерий	
	масштаб распространения	величина потерь
0 баллов	отсутствует	потери отсутствуют
1-2 балла	местный	приемлемые
3-4 балла	локальный	чувствительные
5-6 баллов	региональный	значимые
7-8 баллов	значительная часть республики (субъектов хозяйствования)	существенные
9-10 баллов	национальный	катастрофические
Примечание – Таблица составлена авторами по результатам собственных исследований.		

новлено значительное влияние природно-климатических и макроэкономических рисков (рис. 1).

При этом определено, что в анализируемом периоде наиболее рискнапряженными были 2014-2016 гг., а к сложным годам отнесены 2011 г., 2013 г. и 2018-2020 гг. (рис. 2).

Таблица 3. Рейтинговая оценка идентифицированных рисков в сельском хозяйстве Республики Беларусь, 2005-2020 гг.

Наименование показателя	Год																В среднем за период	в том числе за		
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		2005-2010 гг.	2011-2015 гг.	2016-2020 гг.
Природно-климатические																				
Аномальные среднегодовые температуры воздуха	0,0	0,0	7,7	7,7	3,5	2,4	6,5	0,0	6,5	2,4	6,9	0,0	0,0	3,5	7,7	7,7	3,9	3,6	4,5	3,8
Аномальное среднегодовое количество выпавших осадков	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7	4,2	4,9	5,5	0,0	4,9	6,0	5,5	6,5	4,2	4,9	4,2	3,7	2,0	4,3	5,1
Наступление опасных агрометеорологических явлений	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	4,5	3,9	4,5	7,1	6,7	5,0	7,1	6,3	3,0	0,4	2,6	6,4
Совокупная рейтинговая оценка по группе	**0,0**	**0,0**	**7,7**	**7,7**	**11,2**	**8,9**	**11,4**	**5,5**	**11,0**	**11,2**	**17,4**	**12,5**	**13,2**	**12,7**	**19,7**	**18,3**	**10,5**	**5,9**	**11,3**	**15,3**
Технико-технологические																				
Несоблюдение норм расхода и сбалансированности внесения минеральных удобрений	3,5	0,0	0,0	2,4	5,5	5,5	7,7	4,9	4,2	0,0	0,0	6,0	6,0	4,9	5,5	2,4	3,7	2,8	3,4	5,0
Несоблюдение норм расхода органических удобрений	6,3	6,3	6,3	5,3	2,8	2,0	2,0	2,0	0,0	2,8	2,0	0,0	0,0	2,0	0,0	2,0	2,6	4,8	1,8	0,8
Несоблюдение норм расхода кормов и сбалансированности рационов кормления животных	8,4	7,0	7,5	7,5	7,5	8,4	7,5	5,9	5,9	6,5	5,3	4,6	4,6	6,5	5,3	4,6	6,4	7,7	6,2	5,1
Несоблюдение норм расхода, своевременности внесения средств защиты растений	2,8	0,0	2,8	4,9	4,9	7,5	4,0	7,5	6,9	2,8	4,9	5,7	4,0	2,8	0,0	0,0	3,8	3,8	5,2	2,5
Несоблюдение ветеринарно-санитарных требований	5,7	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	0,0	4,9	2,8	4,0	5,7	4,9	2,6	1,8	1,8	4,5
Снижение энергообеспеченности сельскохозяйственных организаций	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7	0,0	1,7	1,7	1,7	2,4	2,4	3,0	3,5	3,5	3,9	3,9	2,0	0,6	2,0	3,5
Снижение уровня обновления основных средств	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	2,0	4,5	4,0	4,0	3,5	2,8	1,6	0,3	1,0	3,8
Совокупная рейтинговая оценка по группе	**7,7**	**0,0**	**0,0**	**6,6**	**1,7**	**0,0**	**1,7**	**1,7**	**1,7**	**14,2**	**4,4**	**12,4**	**10,3**	**11,5**	**13,0**	**11,6**	**6,2**	**2,7**	**4,8**	**11,7**
Торгово-экономические																				
Рост уровня расходов на реализацию продукции	0,0	1,4	1,4	1,4	1,4	0,0	0,0	2,0	2,4	2,4	2,8	2,4	2,8	2,4	2,4	2,8	1,8	0,9	1,9	2,6

Продолжение таблицы 3

Наименование показателя	Год																В среднем за период	в том числе за		
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		2005-2010 гг.	2011-2015 гг.	2016-2020 гг.
Рост стоимости промышленной продукции, используемой сельскохозяйственными организациями:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
семена и посадочный материал	1,4	1,4	1,4	2,6	0,0	2,0	3,2	3,2	2,4	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,9	1,5	2,4	1,7
корма	2,6	0,0	3,7	5,9	0,0	0,0	8,4	8,4	5,9	3,7	3,7	2,6	2,6	4,6	2,6	2,6	3,6	2,1	6,0	3,0
минеральные удобрения	1,7	0,0	2,4	5,5	3,5	3,0	5,5	5,5	5,5	3,0	1,7	0,0	1,7	2,4	2,4	0,0	2,7	2,7	4,2	1,3
средства защиты растений	1,7	1,7	2,4	4,6	3,5	3,0	5,5	5,5	3,5	3,0	3,9	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	2,8	4,3	0,6
запасные части, ремонтные, строительные и прочие материалы для ремонтов	2,8	2,0	3,5	2,8	3,5	3,5	6,3	6,3	2,8	2,8	3,5	2,8	2,8	2,0	2,0	2,0	3,2	3,0	4,4	2,3
перевозка грузов	1,4	1,0	1,4	1,4	1,0	1,4	3,2	3,2	2,0	1,7	1,7	1,4	1,0	1,0	1,0	0,0	1,5	1,3	2,4	0,9
улучшение земель, химизация почв и другие агротехнические работы	1,4	1,0	1,7	1,4	1,7	1,7	3,2	3,2	1,4	1,4	1,7	1,4	1,4	1,0	1,0	1,0	1,6	1,5	2,2	1,2
ремонт техники	1,4	2,0	0,0	1,4	1,4	1,4	4,2	4,5	2,0	1,4	2,4	2,4	1,4	2,0	1,4	1,4	1,9	1,3	2,9	1,7
зоотехническое и ветеринарное обслуживание	1,4	1,0	1,7	1,4	1,7	1,7	3,2	3,2	1,4	1,4	1,7	1,4	1,4	1,0	1,0	1,0	1,6	1,5	2,2	1,2
нефтепродукты	4,5	3,2	5,5	3,9	0,0	4,5	7,1	7,1	3,9	4,5	3,9	0,0	0,0	3,2	4,5	3,2	3,7	3,6	5,3	2,2
газ	3,2	1,4	3,2	2,0	3,2	2,6	3,2	3,2	1,0	1,4	3,2	2,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,9	2,6	2,4	0,6
другие виды топлива	2,0	1,7	2,0	1,4	1,0	2,0	3,2	3,2	1,4	1,4	1,4	0,0	1,0	1,7	2,0	1,7	1,7	1,7	2,1	1,3
электроэнергия	3,2	2,4	3,7	4,5	3,5	2,8	4,5	4,5	1,4	2,0	4,2	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	3,4	3,3	0,6
Совокупная рейтинговая оценка по группе	**8,3**	**5,6**	**8,9**	**7,9**	**7,6**	**7,5**	**10,8**	**10,8**	**3,8**	**4,8**	**8,8**	**4,8**	**1,0**	**2,7**	**2,0**	**1,7**	**6,1**	**7,6**	**7,8**	**2,5**
Макроэкономические																				
Рост курса белорусского рубля по отношению к доллару США	0,0	0,0	0,0	2,2	7,1	3,2	7,1	2,2	5,9	7,1	7,1	3,2	0,0	5,0	0,0	7,1	3,6	2,1	5,9	3,0
Усиление паритета цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию	0,0	2,6	3,7	0,0	6,5	0,0	0,0	2,6	8,4	0,0	7,9	3,7	0,0	3,7	2,6	0,0	2,6	2,1	3,8	2,0
Рост инфляции	2,2	2,2	4,5	4,5	3,2	3,2	7,1	7,1	6,7	6,7	4,5	3,9	0,0	2,2	0,0	2,2	3,8	3,3	6,4	1,7
Совокупная рейтинговая оценка по группе	**2,2**	**4,9**	**8,2**	**6,7**	**16,7**	**6,3**	**14,1**	**12,0**	**21,0**	**13,8**	**19,5**	**10,8**	**0,0**	**11,0**	**2,6**	**9,3**	**9,9**	**7,5**	**16,1**	**6,7**
Социальные																				
Усиление оттока работников	3,5	0,0	5,5	2,4	0,0	2,4	3,9	3,0	5,5	4,9	2,4	4,9	4,2	3,9	5,5	3,0	3,4	2,3	3,9	4,3
Степень отставания оплаты труда работников в сельском хозяйстве по отношению к среднереспубликанскому уровню	4,9	4,9	5,3	4,9	4,5	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,0	4,5	4,8	4,1	4,4

Продолжение таблицы 3

Наименование показателя	Год																В среднем за период	в том числе за		
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		2005-2010 гг.	2011-2015 гг.	2016-2020 гг.
Снижение реальной заработной платы работников в сельском хозяйстве	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,9	1,1
Совокупная рейтинговая оценка по группе	**8,4**	**4,9**	**10,8**	**7,3**	**4,5**	**6,9**	**8,3**	**7,0**	**9,5**	**8,9**	**10,9**	**14,8**	**8,7**	**8,3**	**9,9**	**7,0**	**8,5**	**7,1**	**8,9**	**9,8**
Совокупная рейтинговая оценка по отрасли	**26,6**	**15,4**	**35,6**	**36,3**	**41,8**	**29,6**	**46,4**	**37,0**	**47,0**	**53,0**	**61,1**	**55,4**	**33,2**	**46,2**	**47,3**	**48,0**	**41,2**	**30,9**	**48,9**	**46,0**

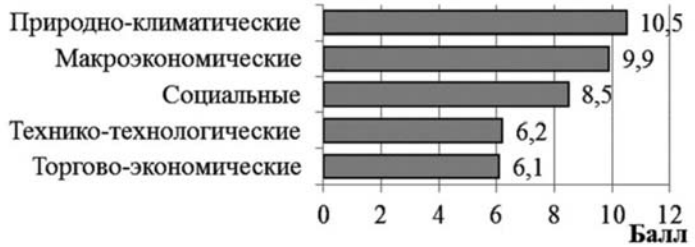


Рисунок 1. Ранг групп идентифицированных рисков в сельском хозяйстве Республики Беларусь, 2005-2020 гг.
Примечание – Рисунок составлен авторами по результатам собственных исследований.

Практическое применение полученных результатов позволит принять рациональные управленческие решения: в растениеводстве – при обосновании внедрения новых адаптивных систем земледелия, эффективных технологий выращивания сельскохозяйственных растений, повышения их урожайности путем использования интенсивных сортов и соблюдения технологических регламентов; в животноводстве – по техническому переоснащению животноводческих объектов, в том числе интел-

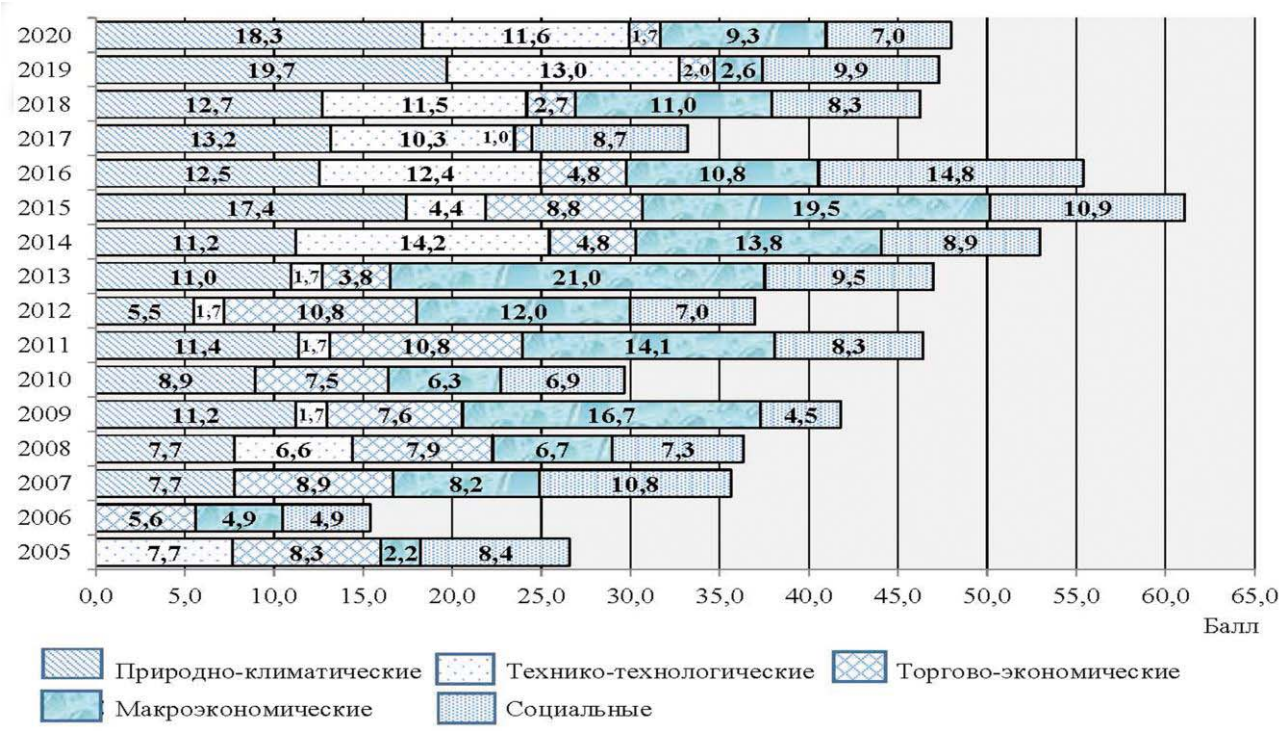


Рисунок 2. Совокупная рейтинговая оценка групп идентифицированных рисков в сельском хозяйстве Республики Беларусь, 2005-2020 гг.
Примечание – Рисунок составлен авторами по результатам собственных исследований

лектуальными роботизированными системами, машинами и аппаратами с искусственным интеллектом и др. В совокупности реализация указанных и других мер должна обеспечить прирост продукции сельского хозяйства на 14 %, уровень рентабельности продаж организаций АПК – не менее 10 %, объем экспорта продовольственных товаров – 7 млрд долл. США к концу 2025 г. [3].

Заключение

В результате проведенного исследования на основе авторского методического подхода идентифицированы ретроспективные риски в сельском хозяйстве Республики Беларусь, изучены тенденции их проявления за долгосрочный период (2005-2020 гг.). Исходя из сферы возникновения, систематизирован перечень выявленных вызовов, опасностей и угроз с выделением природно-климатических, технико-технологических, торгово-экономических, макроэкономических, социальных групп рисков. С использованием балльной и рейтинговой оценки определен уровень влияния негативных событий на аграрный сектор страны, выделены угрозы с наибольшим потенциалом потерь.

Научная новизна примененной методики заключается в возможности квантификации показателей реализации рисковых ситуаций (масштаб распространения, величина потерь) в случае отсутствия либо недостаточности необходимых статистических данных, а также определении видовой и временной концентрации рисков на уровне отрасли. Полученные результаты могут быть использованы в системе стратегического прогнозирования аграрного бизнеса Республики Беларусь при определении целевых параметров его функционирования на долгосрочную перспективу, а также положены в основу разработки комплекса эффективных организационно-экономических мер упреждения рисков в сельском хозяйстве на уровне государства, отдельных регионов, отраслей, субъектов хозяйствования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. О развитии села и повышении эффективности аграрной отрасли [Электронный ресурс]: Директива Президента Респ. Беларусь, 4 марта 2019 г., № 6 / Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P01900006. – Дата доступа: 06.03.2019.

2. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февраля 2021 г., № 59 / Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/C22100059_1612904400.pdf. – Дата доступа: 10.02.2021.

3. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 29 июля 2021 г. № 292. – Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292. – Дата доступа: 30.12.2020.

4. Концепция Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2035 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsija-na-sajt.pdf. – Дата доступа: 07.02.2022.

5. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – 178 с.

6. Киреенко, Н.В. Развитие агропродовольственного сектора Республики Беларусь в условиях усиления внешних вызовов и кризисных явлений / Н.В. Киреенко, И.А. Войтко // Бюллетень ФАО. – 2020. – № 12 (68), декабрь. – С. 15–20.

7. Павлович, Л.М. Научные основы управления рисками в аграрной сфере / Л.М. Павлович // Аграр. экономика. – 2021. – № 4. – С. 25-36.

8. Вероха, Л.М. Отраслевые особенности возникновения рисковых ситуаций в агробизнесе / Л.М. Вероха // Экономические вопросы развития сельского хозяйства Беларуси: межвед. темат. сб. / Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; редкол.: В.Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – Вып. 41. – С. 16-22.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.02. 2022

Правила для авторов

1. Журнал «Агропанорама» помещает достоверные и обоснованные материалы, которые имеют научное и практическое значение, отличаются актуальностью и новизной, способствуют повышению экономической эффективности агропромышленного производства, носят законченный характер. Статьи публикуются на русском языке.

Приказом ВАК от 4 июля 2005 г. № 101 (в редакции приказа ВАК от 2.02.2011 г. № 26) журнал «Агропанорама» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным (зоотехния) наукам.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять, как правило, не менее 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), что соответствует 8 стр. текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 стр. в случае печати через 1,5 интервала).

Рукопись статьи, представляемая в редакцию, должна удовлетворять основным требованиям современной компьютерной верстки. К набору текста и формул предъявляется ряд требований:

1) рукопись, подготовленная в электронном виде, должна быть набрана в текстовом редакторе Word версии 6.0 или более поздней. Файл сохраняется в формате «doc»;

2) текст следует сформатировать без переносов и выравнивания правого края текста, для набора использовать один из самых распространенных шрифтов типа Times (например, Times New Roman Cyr, Times ET);

3) знаки препинания (.,!?:;...) не отделяются пробелом от слова, за которым следуют, но после них пробел обязателен. Кавычки и скобки не отделяются пробелом от слова или выражения внутри них. Следует различать дефис«-» и длинное тире «–». Длинное тире набирается в редакторе Word комбинацией клавиш: Ctrl+Shift+«-». От соседних участков текста оно отделяется единичными пробелами. Исключение: длинное тире не отделяется пробелами между цифрами или числами: 1991-1996;

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

а) формулы набираются только в редакторе формул Microsoft Equation. Размер шрифта 12. При длине формулы более 8,5 см желательно продолжение перенести на следующую строчку;

б) буквы латинского алфавита, обозначающие переменные, постоянные, коэффициенты, индексы и т.д., набираются курсивом;

в) элементы, обозначаемые буквами греческого и русского алфавитов, набираются шрифтом прямого начертания;

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

е) специальные символы и элементы, обозначаемые буквами греческого алфавита, использованные при наборе формул, вставляются в текст только в редакторе формул Microsoft Equation.

ж) пронумерованные формулы пишутся в отдельной от текста строке, а номер формулы ставится у правого края.

Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки в тексте.

3. Рисунки, графики, диаграммы необходимо выполнять с использованием электронных редакторов и вставлять в файл документа Word. Изображение должно быть четким, толщина линий более 0,5 пт, размер рисунка по ширине: 5,6 см, 11,5 см, 17,5 см и 8,5 см.

4. Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь заголовок и номер (если таблиц несколько). Рекомендуется установить толщину линии не менее 1 пт. В оформлении таблиц и графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

Фотографии и рисунки должны быть представлены в электронном виде в отдельных файлах формата *.tif или *.jpg с разрешением 300 dpi.

Научные статьи, публикуемые в изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, должны включать:

индекс УДК;

название статьи;

фамилию и инициалы, должность, ученую степень и звание автора (авторов) статьи;

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований, проведенных авторами.

В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Дополнительно в структуру статьи может быть включен перечень принятых обозначений и сокращений.

5. Литература должна быть представлена общим списком в конце статьи. Библиографические записи располагаются в алфавитном порядке на языке оригинала или в порядке цитирования. Ссылки в тексте обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

6. Статьи из научно-исследовательских или высших учебных заведений направляются вместе с сопроводительным письмом, подписанным директором и приложенной экспертной справкой по установленной форме.

7. Статьи принимаются в электронном виде с распечаткой в одном экземпляре. Распечатанный текст статьи должен быть подписан всеми авторами. В конце статьи необходимо указать полное название учреждения образования, организации, предприятия, ученую степень и ученое звание (если есть), а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный или домашний) каждого автора.

8. Авторы несут ответственность за направление в редакцию статей, опубликованных ранее или принятых к печати другими изданиями.

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

10. Право первоочередного опубликования статей предоставляется лицам, осуществляющим послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство), в год завершения обучения.

Авторские материалы для публикации в журнале «Агропанорама» направляются в редакцию по адресу:

220023, г. Минск, пр-т Независимости, 99, корп. 5, к. 602; 608. БГАТУ

Мобильная установка для очистки отработанных гидравлических и моторных масел

Предназначена для очистки, как свежих товарных смазочных материалов, так и ранее использованных масел в ДВС и гидравлических системах, удовлетворяющих техническим требованиям для дальнейшего повторного использования.

Применение установки позволит повысить качество и продлить срок службы моторных и гидравлических масел. Она может использоваться на предприятиях по ремонту и техническому сервису машинно-тракторного парка, а также непосредственно в хозяйствах. Данную установку можно использовать также для профилактической очистки свежих масел, в которых количество загрязнений выше допустимых пределов.

Основные технические данные

Производительность установки, л/мин	20
Рабочий объем бака, л	45
Рабочая температура масла, °С	60–90
Мощность маслонагревателя, кВт	6
Время нагрева масла от 10 до 60°С, мин	12
Потребляемая мощность, кВт	1,5
Тонкость очистки, мкм	5–15
Габаритные размеры установки, мм	1250x650x1000
Масса, кг	110