



ISSN 2078-7138

АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 1
февраль
2018

*Теоретическое исследование процесса сушки
неподвижного слоя зерна*

*Работа трансформатора со схемой соединения
обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым
проводом» при нелинейном
характере нагрузки*

*Методика расчета мощности приводного и тормозного
асинхронных двигателей при частотном
регулировании скорости в обкаточно-
испытательных стендах
механических передач*

*Оценка технического состояния агрегатов
объемного гидравлического привода в
эксплуатационных условиях*



НАШИ ИЗДАНИЯ



Шило, И.Н. Практика целевого изобретательства в агроинженерии / И. Н. Шило, Н. Н. Романюк, В. А. Агейчик [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2017. – 520 с.

В монографии рассмотрены профессиональные особенности деятельности агроинженера-изобретателя, пути развития культуры инженерного мышления на основе изучения законов развития техники, создания новых и модернизации существующих технических объектов сельскохозяйственного профиля. Большое внимание уделено наиболее распространенным методам технического творчества, объединенным понятием «Теория решения изобретательских задач». В качестве примеров творческого применения этих законов на практике представлены 100 избранных изобретений и 2 полезные модели авторов, полученные в последние годы. Рассмотрены тенденции научно-технического развития и основы инновационной деятельности.

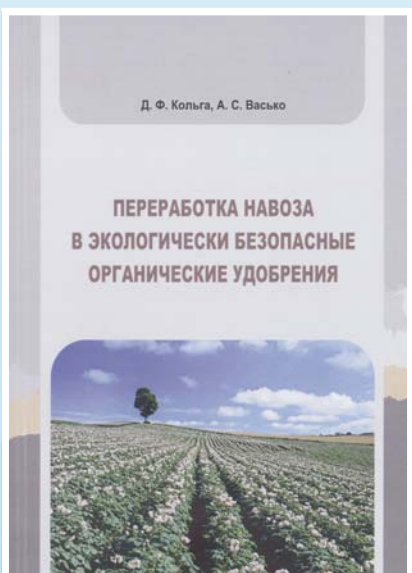
Монография предназначена для ученых, инженеров, конструкторов, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов, а также специалистов агроинженерного профиля.



Капцевич, В. М. Искрогасители для сельскохозяйственной техники / В. М. Капцевич, Н. К. Лисай, В. М. Константинов [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2017. – 156 с.

В монографии рассмотрены вопросы предотвращения образования потенциальных источников зажигания от систем выпуска выхлопных газов мобильной сельскохозяйственной техники. Рассмотрены требования нормативных документов в области пожарной безопасности, связанные с необходимостью использования искрогасителей. Рассмотрены существующие конструкции искрогасящих устройств, механизмы действия искрогасителей и требования, предъявляемые к ним. Представлена разработка искрогасителя с использованием проницаемого материала на основе металлических сеток, проведены его лабораторные и натурные испытания.

Рассчитана на научных и инженерно-технических работников сферы технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Может быть полезна студентам, магистрантам и аспирантам.



Кольга, Д.Ф. Переработка навоза в экологически безопасные органические удобрения / Д. Ф. Кольга, А. С. Васько. – Минск: БГАТУ, 2017. – 128 с.

В монографии изложены сведения об удобрительных свойствах навоза, его влиянии на окружающую среду, проблемы его утилизации. Представлены современные технологии приготовления компостов на основе заданных физико-химических свойств. Описаны способы накопления, хранения различных видов навоза, их использование и удобрительная ценность.

Издание адресовано специалистам и руководителям хозяйств агропромышленного комплекса, преподавателям, студентам высших и средних учебных заведений.

АГРОПАНОРАМА 1 (125) февраль 2018

Издается с апреля 1997 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
Иван Николаевич Шило

Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

И.М. Богдевич	П.П. Казакевич
Г.И. Гануш	Н.В. Казаровец
Л.С. Герасимович	А.Н. Карташевич
С.В. Гарник	Л.Я. Степук
В.Н. Дашков	В.Н. Тимошенко
Е.П. Забелло	А.П. Шпак

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

Компьютерная верстка
В.Г. Леван

Адрес редакции:

Минск, пр-т Независимости, 99/1, к. 220
Тел. (017) 267-47-71 Факс (017) 267-41-16

Прием статей и работа с авторами:

Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608
Тел. (017) 385-91-02, 267-22-14

Факс (017) 267-25-71

E-mail: AgroP@batu.edu.by

БГАТУ, 2018.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 22.02.2018 г. Зак. № 182 от 19.02.2018 г.

Дата выхода в свет 28.02.2018 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск, пр-т. Независимости, 99/2

ЛП № 02330/316 от 30.01.2015 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

Стоимость подписки на журнал на 1-е п/г 2018 г.:

для индивидуальных подписчиков - 17,61 руб.;

ведомственная - 19,29 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 5,19 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

В.П. Чеботарев

Теоретическое исследование процесса сушки неподвижного
слоя зерна.....2

Технологии переработки продукции АПК

**И.Н. Шило, В.М. Поздняков, С.А. Зеленко,
Я.Э. Пилюк**

Применение вибропневматического оборудования для
предпосевной подготовки семян рапса.....5

Энергетика. Транспорт

**М.А. Прищепов, В.М. Збродыга,
А.И. Зеленкевич**

Работа трансформатора со схемой соединения обмоток
«звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при
нелинейном характере нагрузки.....9

А.А. Мажей, А.А. Ракицкий

Контроль расхода топлива при эксплуатации
автотракторной техники.....20

М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова

Методика расчета мощности приводного и тормозного
асинхронных двигателей при частотном регулировании
скорости в обкаточно-испытательных стендах
механических передач.....25

Технический сервис в АПК. Экономика

**Д.А. Жданко, В.Я. Тимошенко, А.В. Новиков,
Д.И. Сушко, Д.С. Вербицкий**

Оценка технического состояния агрегатов объемного
гидравлического привода в эксплуатационных условиях.....37

С.В. Бондарь

Методика оценки результатов трансформации сельских
малых субъектов хозяйствования.....40

Аграрное образование

Н.Л. Ракова, Т.В. Бойко

Использование современных технологий в образовательном
процессе на кафедре теоретической механики и теории
механизмов и машин БГАТУ.....45

УДК 631.354

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ НЕПОДВИЖНОГО СЛОЯ ЗЕРНА

В.П. Чеботарев,

зав. каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, докт. техн. наук, доцент

В статье изложен расчет параметров процесса сушки неподвижного толстого слоя зерна.

Ключевые слова: агент сушки, равновесное влагосодержание, скорость сушки, диффузия влаги, зона сушки.

The article describes the calculation of the parameters of the drying process of a fixed thick layer of grain.

Keywords: drying agent, equilibrium moisture content, drying speed, moisture diffusion, drying zone.

Введение

Основным способом обеспечения длительной сохранности зерна является его своевременная сушка до требуемых кондиций [1-3]. Техничко-экономическая эффективность процесса сушки может быть обеспечена подбором оптимальных режимов – параметров сушильного агента: температуры, скорости движения, влагосодержания, а также продолжительности сушки [4-7]. В то же время существенным условием, определяющим ход процесса сушки, является величина слоя высушиваемого зерна.

Основная часть

При проведении сушки неподвижного слоя зерна соотношение высоты слоя H к эквивалентному диаметру зерновки D может достигать значения 500...600. В то же время известно, что скорость прохождения агента сушки через слой зерна ограничена аэродинамическими условиями и экономической целесообразностью. С другой стороны, это позволяет регулировать интенсивность протекания процесса сушки. В результате равновесное влагосодержание агента сушки может наступить на высоте слоя, равной $H=(15...20) D$. Вследствие этого процесс сушки вышележащих слоев зерна полностью прекратится. В дальнейшем зерновой слой будет высушиваться по зонам, причем зона равновесного влагосодержания агента сушки будет перемещаться в направлении его движения к поверхности слоя. Время движения этой зоны зависит от режима сушки, влажности материала и высоты слоя. Поэтому расчет процесса сушки зерна в слое необходимо разделить на два: для элементарного слоя и толстого слоя.

Как известно, расчет необходимого времени сушки, обеспечивающего получение материала заданной конечной влажности, может производиться по кинетическим зависимостям процесса сушки. Эти зависимости устанавливают закономерности изменения среднего влагосодержания и средней температу-

ры материала от времени сушки [3-4]. В теории сушки эти изменения на практике принято исследовать графическим способом в виде совмещенных графиков кривых сушки, скорости сушки, а также температуры материала и агента сушки (рис. 1). При этом средняя влажность зерна, его температура и скорость сушки представлены в зависимости от времени протекания процесса. Под скоростью сушки понимается количество влаги, удаляемой в единицу времени с единицы поверхности испаряемого материала. По характеру взаимодействия влаги зерна и агента сушки процесс может разделяться на следующие три стадии: влажного, гигроскопического и равновесного состояний. При стадии влажного состояния процесс сушки зерна идет в основном путем испарения влаги с поверхности зерновки. В стадии гигроскопического состояния испарение влаги начинается во внутренних слоях зерновок. При этом может наблюдаться и обратный процесс – конденсирования и впитывания влаги зерновой массой от агента сушки. Стадия равновесного состояния характеризуется отсутствием изменений количества влаги, как в агенте сушки, так и в зерне. Начало этой стадии означает завершение процесса сушки. Таким образом, непосредственно сам процесс сушки происходит в первой и второй стадиях.

При этом первую стадию можно условно разделить на два периода по величине скорости сушки: возрастающей и постоянной. Первый период характеризуется повышением температуры зерна и относительно небольшим изменением его влажности. В этом периоде происходит прогрев материала, а скорость сушки быстро возрастает до определенного постоянного значения. В этот момент также устанавливается постоянная величина температуры поверхности зерновок. Во втором периоде сушки, при постоянной скорости сушки, устанавливается тепловое равновесие между количеством теплоты, подведенной к поверхности зерновок и расходуемой на превращение воды в пар. При этом поверхность зерновок остается влажной,

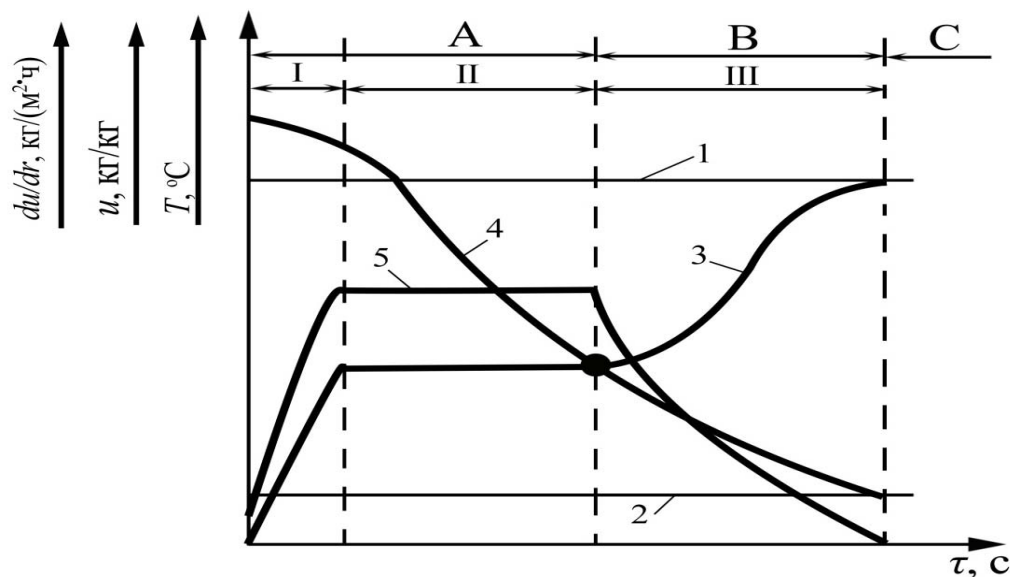


Рис. 1. Стадии и периоды процесса сушки зерна: A, B и C – стадии, соответственно, влажного, гигроскопического и равновесного состояния зерна; I, II, и III – периоды возрастающей, постоянной и падающей скорости сушки; 1 и 2 – температура и влагосодержание агента сушки; 3 и 4 – температура и влагосодержание зерна; 5 – скорость сушки

а влага поступает из внутренних слоев по капиллярам. Вторая стадия процесса сушки полностью соответствует периоду падающей скорости сушки.

Математически описать протекание вышеизложенного процесса можно с помощью приближенных уравнений кинетики сушки, наиболее точно отображающих действительную кривую сушки. Определяющим фактором при описании изменения скорости сушки является текущая разность влагосодержания от начального u_o до конечного u_k равновесных значений, отнесенная к текущему количеству удаленной влаги ($u_o - u$) за период времени $d\tau$. Это изменение скорости сушки может быть выражено следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{du}{d\tau} = -K_u \frac{u_o - u_k}{u_o - u}, \quad (1)$$

где K_u – коэффициент скорости сушки, кг/с;
 u – текущее влагосодержание зерна, кг/кг.

После разделения переменных выражение (1) примет вид:

$$\frac{(u_o - u) du}{u_o - u_k} = -K_u d\tau. \quad (2)$$

После интегрирования выражения (2) получено следующее уравнение:

$$\frac{2u_o u - u^2}{2(u_o - u_k)} = -K_u \tau + C. \quad (3)$$

Для определения постоянной интегрирования принимается $u = u_o$, $\tau = 0$ и тогда

$$C = \frac{u_o^2}{2(u_o - u_k)}. \quad (4)$$

Подстановка полученного значения постоянной интегрирования в выражение (3) позволила определить зависимость времени сушки от начального и конечного влагосодержания зерна и параметров процесса сушки:

$$\tau = \frac{(u - u_o)^2}{2K_u (u_o - u_k)}. \quad (5)$$

Текущее влагосодержание на момент времени сушки τ будет равно:

$$u = u_o - \sqrt{2K_u (u_o - u_k) \tau}. \quad (6)$$

В то же время величина удаленной за время τ влаги будет равна:

$$u_\tau = \sqrt{2K_u (u_o - u_k) \tau}, \quad (7)$$

а коэффициент скорости сушки соответственно:

$$K_u = \frac{(u - u_o)^2}{2(u_o - u_k) \tau}. \quad (8)$$

С другой стороны, для более полного рассмотрения процесса сушки необходимо одновременно рассматривать изменение состояния агента сушки в процессе изменения высушиваемого материала [8-9]. Агент сушки с влагосодержанием d_1 с массовой скоростью M_c проходит бесконечно малый слой зерна dV через бесконечно малое поперечное сечение слоя dF . Так как агент сушки, пройдя бесконечно малый слой зерна за время τ , дополнительно насыщается влагой до d_2 , то скорость сушки будет равна:

$$du = M_c \cdot dd \cdot dF = a_d dS_{\phi} (d_n - d), \quad (9)$$

где a_d – коэффициент массопередачи в газовой фазе, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кг})$;

dS_{ϕ} – поверхность контакта поперечного сечения слоя зерновок с агентом сушки, $\text{м}^2/\text{м}^2$;

d_n – влагосодержание агента сушки при температуре адиабатного насыщения, $\text{кг}/\text{кг}$.

Если обозначить через $a_{\phi\kappa}$ удельную поверхность фазового контакта на единицу объема слоя зерна, то

$$dS_{\phi} = a_{\phi\kappa} \cdot dF \cdot dH.$$

Тогда уравнение (9) может быть представлено в следующем виде:

$$M_c \cdot dd \cdot dF = a_d \cdot a_{\phi\kappa} \cdot dF \cdot dH (d_n - d). \quad (10)$$

После сокращения на dF и разделения переменных, выражение (10) примет вид:

$$\frac{dd}{d_n - d} = \frac{a_d \cdot a_{\phi\kappa} \cdot dH}{M_c}. \quad (11)$$

Интегрирование уравнения (11)

$$\int_{d_1}^{d_2} \frac{dd}{d_n - d} = \int_0^H \frac{a_d \cdot a_{\phi\kappa} \cdot dH}{M_c}$$

позволяет получить зависимость изменения влагосодержания и массовой скорости подачи агента сушки от высоты слоя зерна:

$$\ln \frac{d_n - d_1}{d_n - d_2} = \frac{a_d \cdot a_{\phi\kappa} \cdot H}{M_c}.$$

Таким образом, высота слоя зерна, высушиваемая агентом сушки при увеличении его влагосодержания с d_1 до d_2 , будет равна:

$$H = \frac{M_c}{a_d \cdot a_{\phi\kappa}} \ln \frac{d_n - d_1}{d_n - d_2}. \quad (12)$$

С другой стороны, максимально возможная высота высушиваемого слоя зерна может быть определена исходя из пропорции:

$$\frac{H}{H_{\max}} = \frac{d_2 - d_1}{d_n - d_1}, \quad (13)$$

и будет равна:

$$H_{\max} = H \frac{d_n - d_1}{d_2 - d_1}. \quad (14)$$

Исходя из известной общей высоты слоя высушиваемого зерна $H_{\text{сл}}$, может быть определено количество зон сушки:

– минимально возможное, при заданном исходном влагосодержании агента сушки d_1

$$n_{3c}^{\min} = \frac{H_{\text{сл}}}{H_{\max}} = \frac{H_{\text{сл}}}{H \frac{d_n - d_1}{d_2 - d_1}} = \frac{H_{\text{сл}} (d_2 - d_1)}{H (d_n - d_1)}; \quad (15)$$

– соответствующее влагосодержанию агента сушки, покидающего высушиваемый слой зерна:

$$n_{3c} = \frac{H_{\text{сл}}}{H} = \frac{H_{\text{сл}}}{\frac{M_c}{a_d \cdot a_{\phi\kappa}} \ln \frac{d_n - d_1}{d_n - d_2}} = \frac{H_{\text{сл}} \cdot a_d \cdot a_{\phi\kappa}}{M_c \ln \left(\frac{d_n - d_1}{d_n - d_2} \right)}. \quad (16)$$

Таким образом, достигаемая высота зоны сушки неподвижного слоя зерна определяется массовой скоростью подачи агента сушки, его влагосодержанием, коэффициентом массопередачи в газовой среде и величиной поверхности фазового контакта слоя зерна и агента сушки.

Заключение

На основании проведенных теоретических расчетов установлены зависимости, позволяющие определить для заданных условий сушки высоту образующейся зоны сушки и количество зон в толстом неподвижном слое зерна. Исходя из начальных размеров неподвижного слоя зерна и образующейся зоны сушки, могут определяться время и основные параметры состояния высушиваемого зерна и агента сушки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпов, Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна / Б.А. Карпов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 288 с.
2. Гержой, А.П. Зерносушение и зерносушилки / А.П. Гержой, В.Ф. Самочетов. – М.: Колос, 1982. – 255 с.
3. Жидко, В.И. Зерносушение и зерносушилки / В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. – М.: Колос, 1982. – 239 с.
4. Птицын, С.Д. Зерносушилки. / С.Д. Птицын. – М.: Машиностроение, 1966. – 211 с.
5. Мальтри, В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Э. Петке, Б. Шнайдер. – М.: Машиностроение, 1979. – 526 с.
6. Атаназевич, В.И. Сушка зерна / В.И. Атаназевич. – М.: Лабиринт, 1997. – 256 с.
7. Резчиков, В.А. Технология зерносушения / В.А. Резчиков, О.Н. Налеев, С.В. Савченко. – Алма-Ата: Алматинский технологический университет, 2000. – 363 с.
8. Малинин, Н.И. Энергосберегающая сушка зерна / Н.И. Малинин. – М.: Колос, 2004. – 239 с.
9. Olesen, T. Grain drying / T. Olesen – Thisted: IDEAS, 1987 – 262 p.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.10.2017

УДК 664.726.9

ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН РАПСА

И.Н. Шило,

ректор БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.М. Поздняков,

проректор по учебной и воспитательной работе БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

С.А. Зеленко,

*ассистент каф. технологий и технического обеспечения процессов переработки
сельскохозяйственной продукции БГАТУ*

Я.Э. Пилюк,

*зав. отделом масличных культур РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»,
канд. с.-х. наук*

В статье представлены результаты исследования процесса сортирования семян рапса по плотности на разработанном сепараторе вибропневматического принципа действия. На основании проведенных полевых опытов установлено, что сортирование семян рапса сорта «Неман» на этапе предпосевной подготовки с применением разработанного вибропневматического сепаратора позволило увеличить урожайность с 26,8 ц/га до 30,4 ц/га при повышении содержания масла в маслосеменах на 2,2 %, а также стабилизации содержания глюкозинолатов.

Ключевые слова: вибропневматический сепаратор, сортирование, семена, псевдооживленный слой.

The article presents the results of the research process of sorting rapeseed according to density on the designed separator of pneumatic vibration principle of action. On the basis of field experiments, it was established that the sorting of rapeseed seeds of the Neman variety at the stage of preseeding preparation with the use of a developed vibro-pneumatic separator led to the increase of the yield from 26.8 centners per hectare to 30.4 centners per hectare with an increase in the oil content in oilseeds by 2,2%, as well as stabilization of glucosinolate content.

Keywords: gravity separator's, assort, seeds density, rapeseed, fluidized bed.

Введение

Наращивание в республике мощностей перерабатывающих предприятий обусловило необходимость увеличения объемов производства технических сельскохозяйственных растений. Согласно Государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016-2020 годы, производство маслосемян рапса в 2020 году должно составить 820 тыс. т, льноволокна – 55 тыс. т, при обеспечении повышения урожайности рапса до 20,5 ц с гектара, льноволокна – до 11 ц с гектара. Выполнение прогнозных показателей возможно только при условии строгого соблюдения технологии возделывания сельскохозяйственных культур и обеспечении качества используемых для посева семян.

Повышение качества семенного материала является одним из ключевых вопросов в семеноводстве. Проведенные авторами исследования, а также анализ зарубежных литературных источников показали, что посевные качества семян во многом определяются их

плотностью [1-4]. Чем выше плотность, тем выше содержание в семени протеина, который влияет на энергию прорастания, а также крахмала, расщепление которого обеспечивает питание зародыша в процессе прорастания семени. Наиболее эффективным способом повышения качества семенного материала на стадии предпосевной подготовки является сортирование семян по плотности в псевдооживленном слое на установках вибропневматического принципа действия. По данным проведенных исследований, использование вибропневматического сепарирования для выделения семян с высокой плотностью позволяет в зависимости от исходного качества семенного материала увеличить потенциал продуктивности семян на 10-25 % [5, 6].

Основная часть

Анализ технологического оборудования для подготовки семенного материала показал, что в настоящее время в Республике Беларусь не существует серийно выпускающегося технологического оборудования,

позволяющего производить разделение семян технических культур (рапса, льна и др.) по плотности и обеспечивающего возможность выделения полноценного посевного материала с высокой точностью [7]. Поэтому разработка конструкции новой отечественной машины, позволяющей разделять семенную массу по плотности, с целью выделения семян с высоким потенциалом урожайности, является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит обеспечить республику высококачественными посевными семенами, и, соответственно, позволит повысить урожайность возделываемых культур.

На основании проведенных исследований разработан и изготовлен экспериментальный образец вибропневматического сепаратора с прямоточным разделением фракций для сортирования семян рапса по плотности. Общий вид вибропневматического сепаратора представлен на рисунке 1. Новизна технических решений подтверждена тремя патентами на изобретение Республики Беларусь.

В конструкции прямоточного вибропневматического сепаратора реализованы следующие технические решения:

- прямоугольная сетчатая дека с продольным углом наклона, что позволило снизить металлоемкость и удельную энергоемкость вибропневматического сепаратора;

- система отбойных и отражающих пластин, что обеспечило высокую эффективность сортирования семян по плотности;

- система тонкой настройки циркуляционных воздушных потоков, что обеспечило равномерное псевдоожижение семян по всей площади рабочей камеры;

- дополнительный выходной патрубок для семян более плотной фракции, что обеспечило возможность сортирования семян с незначительным различием плотностей;

- возможность эксплуатации в режиме рециркуляции воздушного потока, что обеспечило улучшение санитарно-гигиенических условий труда обслуживающего персонала и снижение удельной энергоемкости процесса;

- возможность изменения ширины рабочего канала на деке, что позволило использовать прямоточный вибропневмати-

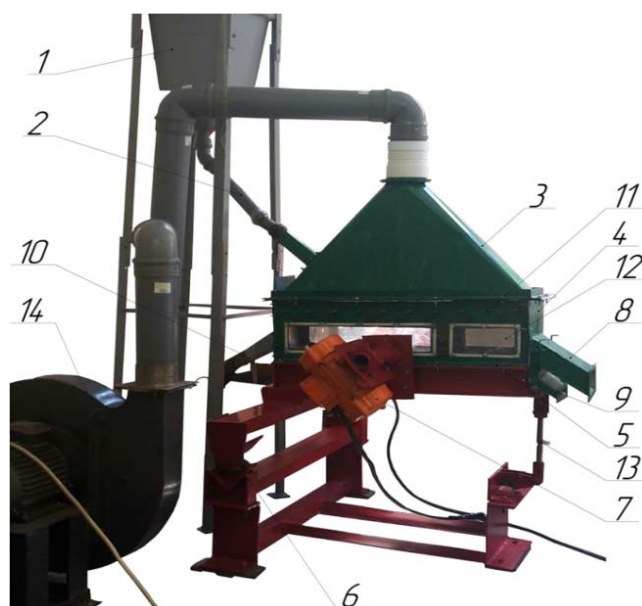


Рис. 1. Общий вид прямоточного вибропневматического сепаратора:

1 – бункер; 2 – приемный патрубок; 3 – конфужор; 4 – рабочая камера; 5 – сетчатая дека; 6 – виброопоры; 7 – электровибратор; 8, 9, 10 – выходные патрубки для средней, более плотной и менее плотной фракций; 11 – шиберные заслонки; 12 – смотровое окно; 13 – вертикальная стойка; 14 – вентилятор ВР 120-28

ческий сепаратор для обработки партий семян от 15 кг.

Технические характеристики разработанного прямоточного вибропневматического сепаратора представлены в таблице 1.

С целью оценки эффективности применения прямоточного вибропневматического сепаратора для повышения посевных качеств, на этапе предпосевной подготовки семян проводились сравнительные полевые опыты, которые были заложены на опытном поле РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» в 2017 г.

Для исследований применялись семена ярового

**Таблица 1. Технические характеристики
разработанного прямоточного
вибропневматического сепаратора**

Наименование параметра	Значение
Производительность удельная, кг/ч·см, до	15
Площадь ситовой поверхности, м ²	0,22
Диапазон регулировки угла наклона деки, град	2-6
Амплитуда колебаний деки, мм	2,5-3
Частота колебаний деки, Гц	13-28
Расход воздуха, м ³ /ч	1,5-4,5
Количество фракций на выходе	3
Скорость воздушного потока в рабочей камере, м/с	0,75-1,5
Установленная мощность привода электровибраторов, кВт	2×0,18
Установленная мощность привода вентилятора, кВт	5,5
Масса, кг	130

рапса сорта «Неман», прошедшие обработку на прямооточном вибропневматическом сепараторе. Предварительно, с использованием современных пакетов программ обработки экспериментальных данных STATISTICA 7 и STATGRAPHICS Centurion XVI.I, для семян рапса определены рациональные параметры работы разработанного вибропневматического сепаратора, обеспечивающие максимальный коэффициент изменения массы и наибольшую производительность:

- амплитуда колебания деки – 2,4-2,85 мм;
- частота колебания деки – 19,5 Гц;
- скорость воздушного потока – 1,2 м/с;
- угол наклона деки – 3,0-3,5 град.

Данные режимно-конструктивные параметры работы вибропневматического сепаратора рекомендованы для использования при подготовке семян рапса с целью выделения семян с высоким потенциалом урожайности [6].

Оценка эффективности применения разработанного прямооточного вибропневматического сепаратора для предпосевной подготовки семян рапса проводилась в следующих условиях: почва опытного участка дерново-подзолистая, легко-суглинистая; содержание гумуса – 2,14 %; кислотность почвы – 5,92. Предшественник – многолетние злаковые травы. Обработка почвы состояла из зяблевой вспашки на глубину 18-20 см, ранневесенней культивации, предпосевной обработки АКШ-3,6. Минеральные удобрения РgoKi2o вносили под вспашку, азот – весной под предпосевную культивацию в дозе 150 кг/га. Срок посева ярового рапса – 6 мая 2017 г. Норма высева семян – 1,5 млн всхожих семян на гектар. Уход за посевами заключался в следующем: после посева до всходов ярового рапса вносили гербицид Пронит (3,0 л/га). С целью борьбы с вредителями рапса проводили опрыскивание посевов инсектицидами: Фастак (0,15 л/га) – 24.05.2017; Маврик (0,25 л/га) – 17.06.2017; Биская (0,3 л/га) – 29.06.2017 с расходом рабочей жидкости 200 л/га.

В ходе исследований установлено, что посев ярового рапса сорта «Неман» семенами, прошедшими сортирование по плотности в псевдооживленном слое на прямооточном вибропневматическом сепараторе, способствовал повышению урожайности маслосемян культуры в условиях 2017 года на 3,6 ц/га или 13,4 % по сравнению с семенами без обработки. Данные, полученные в ходе исследования, представлены в таблице 2.

Результаты наблюдения за элементами архитектуры представлены в таблице 3.

Из данных, представленных в таблице 3, видно, что использование прямооточного вибропневматического сепаратора для подготовки семян ярового рапса оказывает стимулирующее действие на элементы архитектуры растений, по сравнению с контрольным вариантом, т.е. семенами без сортирования по плотности на прямооточном вибропневматическом сепараторе:

- диаметр корневой шейки увеличился на 7,0 %;
- длина корня – на 8,3 %;
- число боковых ветвей – на 9,1 %.

Применение прямооточного сепаратора при подготовке семян рапса к посеву также положительно влияет на биометрические параметры полученной структуры урожая. Биометрические параметры структуры урожая ярового рапса представлены в таблице 4.

Данные, представленные в таблице 4, показывают, что элементы структуры урожая, полученного из семян, прошедших сортирование по плотности на вибропневматическом сепараторе, имеют улучшенные характеристики, по сравнению с контрольным вариантом (без сортирования):

- число стручков на центральной кисти возросло на 6,9 %;
- на боковых ветвях – на 12,9 %;
- всего на растении – на 12,0 %;
- семян в стручке – на 4,0 %;
- масса 1000 семян увеличилась на 1,8 %.

Таблица 2. Хозяйственная эффективность применения прямооточного вибропневматического сепаратора при подготовке семян ярового рапса для посева

Вариант	Норма высева семян, млн /га	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю	
			ц/га	%
Контроль (семена без сортирования)	1,5	26,8	–	
Семена после сортирования	1,5	30,4	3,6	13,4
НСР 0,95		1,56		

Таблица 3. Показатели архитектуры растений семян рапса после применения прямооточного вибропневматического сепаратора

Вариант	Норма высева семян, млн/га	Высота, см		Длина корня, см	Диаметр корневой шейки, см	Число боковых ветвей, шт.
		растения	ветвления			
Контроль (семена без сортирования)	1,5	126	27,2	13,2	0,86	5,5
Семена после сортирования	1,5	130	27,8	14,3	0,92	6,0
НСР 0,95		8,5	2,8	0,9	0,38	0,15

Таблица 4. Биометрические параметры структуры урожая ярового рапса после применения прямооточного вибропневматического сепаратора

Вариант	Норма высева семян, млн/га	Число стручков, шт.			Число семян в стручке, шт.	Масса 1000 семян, г.
		центральная кисть	боковые ветви	всего на растении		
Контроль (семена без сортирования)	1,5	29	163	192	22,6	4,40
Семена после сортирования	1,5	31	184	215	23,5	4,48
НСР 0,95		1,8	9Д	12,5	0,8	0,15

Стоит отметить, что посев рапса семенами, прошедшими сортирование по плотности на вибропневматическом сепараторе, оказывает положительное влияние и на биохимический состав маслосемян. Данные по биохимическому составу маслосемян представлены в таблице 5.

По данным, представленным в таблице 5, видно, что применение прямооточного вибропневмосепаратора на этапе предпосевной подготовки семян ярового рапса к посеву, положительно влияет не только на развитие самого растения, но и на качество полученных маслосемян, а именно: наблюдается повышенное содержание масла в маслосеменах на 2,2 %, а также стабильное содержание глюкозинолатов.

Анализ результатов, полученных в ходе исследований, показал, что сортирование семян ярового рапса

посевной подготовки с применением разработанного вибропневматического сепаратора позволило увеличить урожайность с 26,8 ц/га до 30,4 ц/га при повышении содержания масла в маслосеменах на 2,2 %, а также стабилизации содержания глюкозинолатов.

Результаты исследований представляют интерес для сельскохозяйственных предприятий и научных организаций, связанных с подготовкой семян рапса и других сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фадеев, Л.В. Отборные семена – на каждое поле. Первый этап получения отборных семян / Л.В. Фадеев // Хлебопродукты. – 2014. – № 5. – С. 31-33.

2. Фадеев, Л.В. Без пневмовибростол нельзя получить сильные семена / Л.В. Фадеев // Хлебопродукты. – 2013. – № 8. – С. 24-27.

3. Moshatati, A. Effect of grain weight on germination and seed vigor of wheat / A. Moshatati, M. H. Gharineh // Intl J Agri Crop Sci. – 2012. – Vol. 4. – № 8. – P. 458-460.

4. Umarani, R. The effect of specific gravity separation on germination and biochemical potential of Casuarina equisetifolia seeds / R. Umarani, K. Vanangamudi // Journal of Tropical Forest Science. – 2002. – P. 207-212.

5. Поздняков, В.М. Повышение эффективности подготовки семенного материала на основе совершенствования конструкции сепаратора вибропневматического принципа действия / В.М. Поздняков, С.А. Зеленко, А.И. Ермаков // Вестник БГСХА. – 2014. – № 1. – С. 163-167.

6. Pozdniakov, V.M. The experimental research sorting canola on gravity separator's / V.M. Pozdniakov, S.A. Zelenko, P.I. Pavlykevich, E.Z. Mateyev // The journal of Almaty technological university. – 2017. – № 2. – С. 76-83.

7. Поздняков, В.М. Перспективы развития специализированного зерноочистительного оборудования / В.М. Поздняков, А.В. Иванов, А.И. Ермаков // Вестник МГУП. – 2009. – № 2 (7). – С. 85-90.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 31.01.2018

Таблица 5. Биохимический состав маслосемян, полученных от растений, выращенных из семян после сортирования по плотности

Вариант	Норма высева семян, млн/га	Содержание, %		
		жир	белок	глюкозинолаты
Контроль (семена без сортирования)	1,5	40,7	25,4	0,72
Семена после сортирования	1,5	41,6	24,1	0,71
НСР 0,95		0,2	0,1	0,03

на прямооточном вибропневматическом сепараторе на этапе предпосевной подготовки семян приводит не только к увеличению урожайности маслосемян, но и положительно влияет на показатели архитектоники растений, биометрические параметры структуры урожая и биохимический состав маслосемян. Расчетный экономический эффект от использования прямооточного вибропневматического сепаратора для сортирования семян рапса по плотности на стадии предпосевной подготовки составляет 269,5 руб./га в ценах 2017 г.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что вибропневматическое сортирование семян рапса по плотности на этапе предпосевной подготовки обеспечивает получение высококачественного семенного материала.

Проведение полевых опытов показало, что сортирование семян рапса сорта «Неман» на этапе пред-

УДК 621.313

РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРА СО СХЕМОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ» ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ХАРАКТЕРЕ НАГРУЗКИ

М.А. Прищепов,

проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, докт. техн. наук, доцент

В.М. Збродыга,

зав. каф. электроснабжения БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.И. Зеленкевич,

ст. преподаватель каф. электроснабжения БГАТУ

В статье рассмотрены особенности работы трансформатора со специальной схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при нелинейной нагрузке, в том числе принцип компенсации высших гармоник, кратных трем.

Ключевые слова: трансформатор, высшие гармоники тока и напряжения, магнитодвижущая сила, магнитный поток.

In the article the features of the transformer operation with a special connection scheme for windings "star-double zigzag with zero conductor" are considered with nonlinear load, including the principle of compensation of multiple three higher harmonics.

Keywords: transformer, higher harmonics of current and voltage, magnetomotive force, magnetic flux.

Введение

Высшие гармоники токов и напряжений снижают эффективность процессов генерации, передачи и использования электроэнергии. Уменьшение уровней высших гармоник можно обеспечить рациональным построением схемы электрической сети и применением специальных электротехнических устройств: линейных дросселей, пассивных и активных фильтров высших гармоник, питающих трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток. В частности, в сельских электрических сетях для этой цели возможно использование трансформаторов со схемой соединения

обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [1, 2] (рис. 1).

Основная часть

При работе трансформатора на нелинейную трехфазную нагрузку его токи и напряжения могут содержать четные и нечетные высшие гармоники. При этом первая, четвертая, седьмая и т. д. гармоники образуют прямую последовательность. Вторая, пятая, восьмая и т. д. являются гармониками обратной последовательности. Третья и кратные трем – являются гармониками нулевой последовательности.

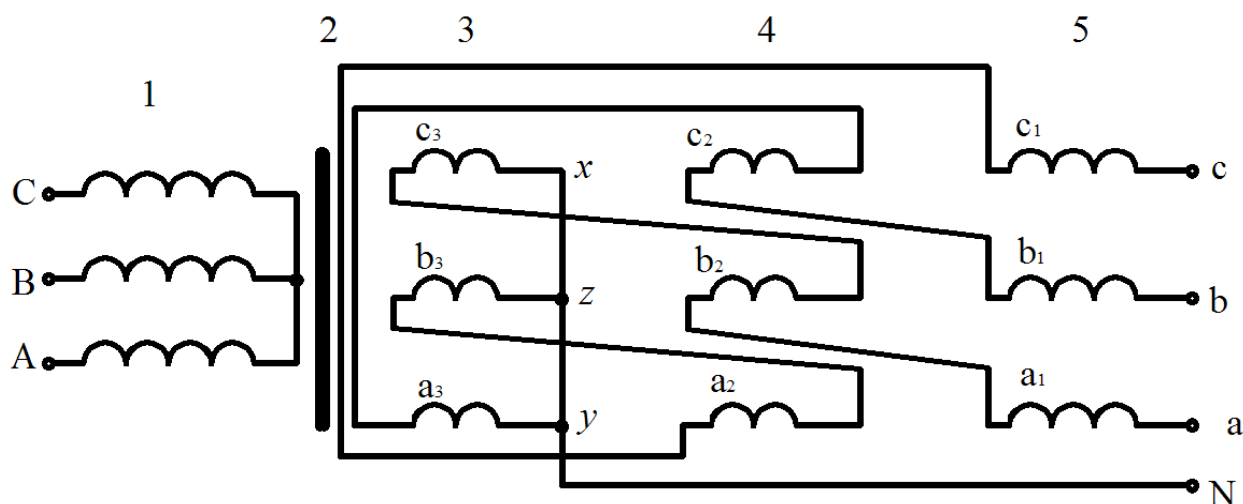


Рис. 1. Схема соединения обмоток трехфазного трансформатора «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»

Для упрощения приняты следующие допущения:

1. Трансформатор запитан от источника бесконечной мощности, а система его первичных напряжений симметрична независимо от режима работы.

2. Напряжение питания трансформатора изменяется по синусоидальному закону.

3. Нагрузка трансформатора носит активный характер.

При работе трансформатора на нелинейную нагрузку фазные напряжения его первичной обмотки, соединенной в звезду без нулевого провода, могут содержать гармоники всех последовательностей:

$$\begin{aligned} u_A &= \sum U_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum U_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum U_{mA(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}]; \\ u_B &= \sum U_{mB(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum U_{mB(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] + (1) \\ &+ \sum U_{mB(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}]; \\ u_C &= \sum U_{mC(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum U_{mC(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum U_{mC(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}], \end{aligned}$$

где $U_{mA(3n+e)}, U_{mB(3n+e)}, U_{mC(3n+e)}$ – амплитудные значения гармоник напряжений фаз «А», «В», «С» первичной обмотки соответственно, В;

ω_1 – угловая частота основной гармоники, рад/с;

φ – угол смещения гармоники по отношению к началу отсчета, рад;

$n = 0, 1, 2, 3, \dots$;

e – индекс принадлежности гармоники к определенной последовательности (1 – прямая, 2 – обратная, 3 – нулевая);

При симметричной нагрузке, токи третьей и кратных трем гармоник в первичной обмотке трансформатора отсутствуют. Фазные токи равны сумме основных гармоник и высших гармонических составляющих прямой и обратной последовательности:

$$\begin{aligned} i_A &= \sum I_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}]; \\ i_B &= \sum I_{mB(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mB(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}]; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} i_C &= \sum I_{mC(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mC(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}], \end{aligned}$$

где $I_{mA(3n+e)}, I_{mB(3n+e)}, I_{mC(3n+e)}$ – амплитуды гармоник токов фаз «А», «В», «С» первичной обмотки соответственно, А;

Токи трех фаз каждой из этих гармоник создают симметричную трехфазную систему. Они протекают по первичным фазным обмоткам, замыкаясь через источник питания, а их сумма в нейтральной точке первичной стороны равна нулю:

$$\begin{aligned} &\sum I_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum I_{mB(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mB(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum I_{mC(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mC(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

В фазных напряжениях вторичной обмотки трансформатора, соединенной в двойной зигзаг с нулевым проводом, могут присутствовать все гармоники:

$$\begin{aligned} u_a &= \sum U_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum U_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum U_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}]; \\ u_b &= \sum U_{mb(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum U_{mb(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] + (4) \\ &+ \sum U_{mb(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}]; \\ u_c &= \sum U_{mc(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum U_{mc(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum U_{mc(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}], \end{aligned}$$

где $U_{ma(3n+e)}, U_{mb(3n+e)}, U_{mc(3n+e)}$ – амплитудные значения гармоник напряжений фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки соответственно, В.

Фазные токи вторичной обмотки могут содержать гармоники всех последовательностей, включая третью и кратные трем:

$$\begin{aligned} i_a &= \sum I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}]; \\ i_b &= \sum I_{mb(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mb(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum I_{mb(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}]; \\ i_c &= \sum I_{mc(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mc(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum I_{mc(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}], \end{aligned} \quad (5)$$

где $I_{ma(3n+e)}, I_{mb(3n+e)}, I_{mc(3n+e)}$ – амплитуды гармоник токов фаз «а», «b», «с» вторичной обмотки соответственно, А.

Первые и все высшие гармоники токов трех фаз вторичной обмотки прямой и обратной последовательностей образуют симметричную трехфазную систему. Они протекают по вторичным фазным обмоткам, замыкаясь через нагрузку, а их сумма в нейтральной точке вторичной стороны равна нулю:

$$\begin{aligned} &\sum I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum I_{mb(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mb(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum I_{mc(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum I_{mc(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)}] = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Фазные токи третьей и кратных трем гармоник протекают по вторичным фазным обмоткам, замыкаясь через нулевой провод и нагрузку (рис. 2). Они равны и одинаково направлены во всех трех фазах в любой момент времени:

$$\begin{aligned} &\sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ &= \sum I_{mb(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ &= \sum I_{mc(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}]. \end{aligned} \quad (7)$$

Кратные трем гармоники, суммируясь, создают утроенный ток в нулевом проводе:

$$\begin{aligned} &\sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] + \\ &+ \sum I_{mb(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] + \\ &+ \sum I_{mc(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ &= 3 \sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}]. \end{aligned} \quad (8)$$

На основании второго закона Кирхгофа для фазы «А» первичной обмотки справедливо выражение:

$$\begin{aligned} u_A &= - \sum E_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] - \\ &- \sum E_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] - \\ &- \sum E_{mA(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] + \\ &+ \sum I_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{1(3n+1)} + \\ &+ \sum I_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{1(3n+2)}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $E_{mA(3n+1)}, E_{mA(3n+2)}, E_{mA(3n+3)}$ – амплитудные значения ЭДС высших гармоник соответственно прямой, обратной и нулевой последовательности фазы «А» первичной обмотки, В;

$Z_{1(3n+1)}, Z_{1(3n+2)}$ – полные сопротивления фаз первичной обмотки токам высших гармоник прямой последовательности и обратной последовательности соответственно, Ом.

С учетом выражения (1) получим:

$$\begin{aligned} &\sum U_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum U_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum U_{mA(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ &= - \sum E_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] - \\ &- \sum E_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] - \\ &- \sum E_{mA(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] + \\ &+ \sum I_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{1(3n+1)} + \\ &+ \sum I_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{1(3n+2)}. \end{aligned} \quad (10)$$

Из выражения (10) определим сумму высших гармоник прямой и обратной последовательностей напряжения фазы «А» первичной стороны:

$$\begin{aligned} &\sum U_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ &+ \sum U_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] = \\ &= - \sum E_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] - \\ &- \sum E_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ &+ \sum I_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{1(3n+1)} + \end{aligned} \quad (11)$$

$$+ \sum I_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{1(3n+2)}.$$

Для третьей и кратных трех высших гармоник напряжения:

$$\begin{aligned} \sum U_{mA(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ = - \sum E_{mA(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}]. \end{aligned} \quad (12)$$

Для вторичной обмотки справедливо выражение:

$$\begin{aligned} u_a = \sum E_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ + \sum E_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ + \sum E_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] - \\ - \sum I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{2-4(3n+1)} - \\ - \sum I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{2-4(3n+2)} - \\ - \sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot Z_{2-4(3n+3)}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $E_{ma(3n+1)}$, $E_{ma(3n+2)}$, $E_{ma(3n+3)}$ – амплитудные значения ЭДС высших гармоник прямой, обратной и нулевой последовательности фазы «а» вторичной обмотки, В;

$Z_{2-4(3n+1)}$, $Z_{2-4(3n+2)}$, $Z_{2-4(3n+3)}$ – полные сопротивления фаз вторичной обмотки токам высших гармоник прямой, обратной и нулевой последовательности соответственно, Ом.

$$\begin{aligned} Z_{2-4(3n+1)} &= Z_{2(3n+1)} + Z_{3(3n+1)} + Z_{4(3n+1)}; \\ Z_{2-4(3n+2)} &= Z_{2(3n+2)} + Z_{3(3n+2)} + Z_{4(3n+2)}; \\ Z_{2-4(3n+3)} &= Z_{2(3n+3)} + Z_{3(3n+3)} + Z_{4(3n+3)}, \end{aligned} \quad (14)$$

где $Z_{2(3n+1)}$, $Z_{2(3n+2)}$, $Z_{2(3n+3)}$ – полные сопротивления половин a_1 , b_1 , c_1 вторичных фазных обмоток токам высших гармоник соответственно прямой, обратной и нулевой последовательности, Ом;

$Z_{3(3n+1)}$, $Z_{3(3n+2)}$, $Z_{3(3n+3)}$ – полные сопротивления четвертей a_2 , b_2 , c_2 вторичных фазных обмоток токам высших гармоник соответственно прямой, обратной и нулевой последовательности, Ом;

$Z_{4(3n+1)}$, $Z_{4(3n+2)}$, $Z_{4(3n+3)}$ – полные сопротивления четвертей a_3 , b_3 , c_3 вторичных фазных обмоток токам высших гармоник соответственно прямой, обратной и нулевой последовательности, Ом.

На основании выражений (4) и (13) получим:

$$\begin{aligned} \sum U_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ + \sum U_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ + \sum U_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ = \sum E_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ + \sum E_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} + \sum E_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] - \\ - \sum I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{2-4(3n+1)} - \\ - \sum I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{2-4(3n+2)} - \\ - \sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot Z_{2-4(3n+3)}. \end{aligned}$$

Из выражения (15) определим сумму высших гармоник прямой и обратной последовательности напряжения фазы «а» вторичной стороны:

$$\begin{aligned} \sum U_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ + \sum U_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] = \\ = \sum E_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ + \sum E_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] - \\ - \sum I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{2-4(3n+1)} - \\ - \sum I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{2-4(3n+2)}. \end{aligned} \quad (16)$$

Для третьей и кратных трех высших гармоник фазы «а» вторичной стороны:

$$\begin{aligned} \sum U_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ = \sum E_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] - \\ - \sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot Z_{2-4(3n+3)}. \end{aligned} \quad (17)$$

Так как фазные токи кратных трех высших гармоник первичной обмотки $i_{A(3n+3)}$, $i_{B(3n+3)}$, $i_{C(3n+3)}$ равны нулю, то создаваемые ими МДС также равны нулю (рис. 2):

$$\begin{aligned} i_{A(3n+3)} W_1 &= 0; \\ i_{B(3n+3)} W_1 &= 0; \\ i_{C(3n+3)} W_1 &= 0, \end{aligned} \quad (18)$$

где W_1 – количество витков в одной фазе первичной обмотки, шт.

Токи кратных трех гармоник равны по величине и имеют одинаковое направление во всех трех фазах вторичной обмотки в любой момент времени (рис. 2):

$$i_{a(3n+3)} = i_{b(3n+3)} = i_{c(3n+3)}. \quad (19)$$

Протекая по вторичным фазным обмоткам, они создают соответствующие МДС. С учетом выражения (19) МДС половин обмоток a_1 , b_1 , c_1 равны между собой по величине и по фазе, а МДС четвертей a_2 , b_2 , c_2 , a_3 , b_3 , c_3 – между собой:

$$\begin{aligned} i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{2} &= i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{2} = i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{2}; \\ i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} &= i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{4} = i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{4}, \end{aligned} \quad (20)$$

где W_2 – количество витков в одной фазе вторичной обмотки, шт.

С учетом направления намотки и маркировки выводов токи гармоник нулевой последовательности обтекают половины фаз вторичных обмоток a_1, b_1, c_1 и четвертей $a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3$, расположенных на каждом из стержней магнитопровода, в противоположных направлениях (рис. 2).

Учитывая выражения (18) и (19), МДС гармоник нулевой последовательности в стержнях фаз «А», «В», «С» будут равны:

$$\begin{aligned} f_{A(3n+3)} &= i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{4} = \\ &= i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0; \\ f_{B(3n+3)} &= i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{4} = \end{aligned} \quad (21)$$

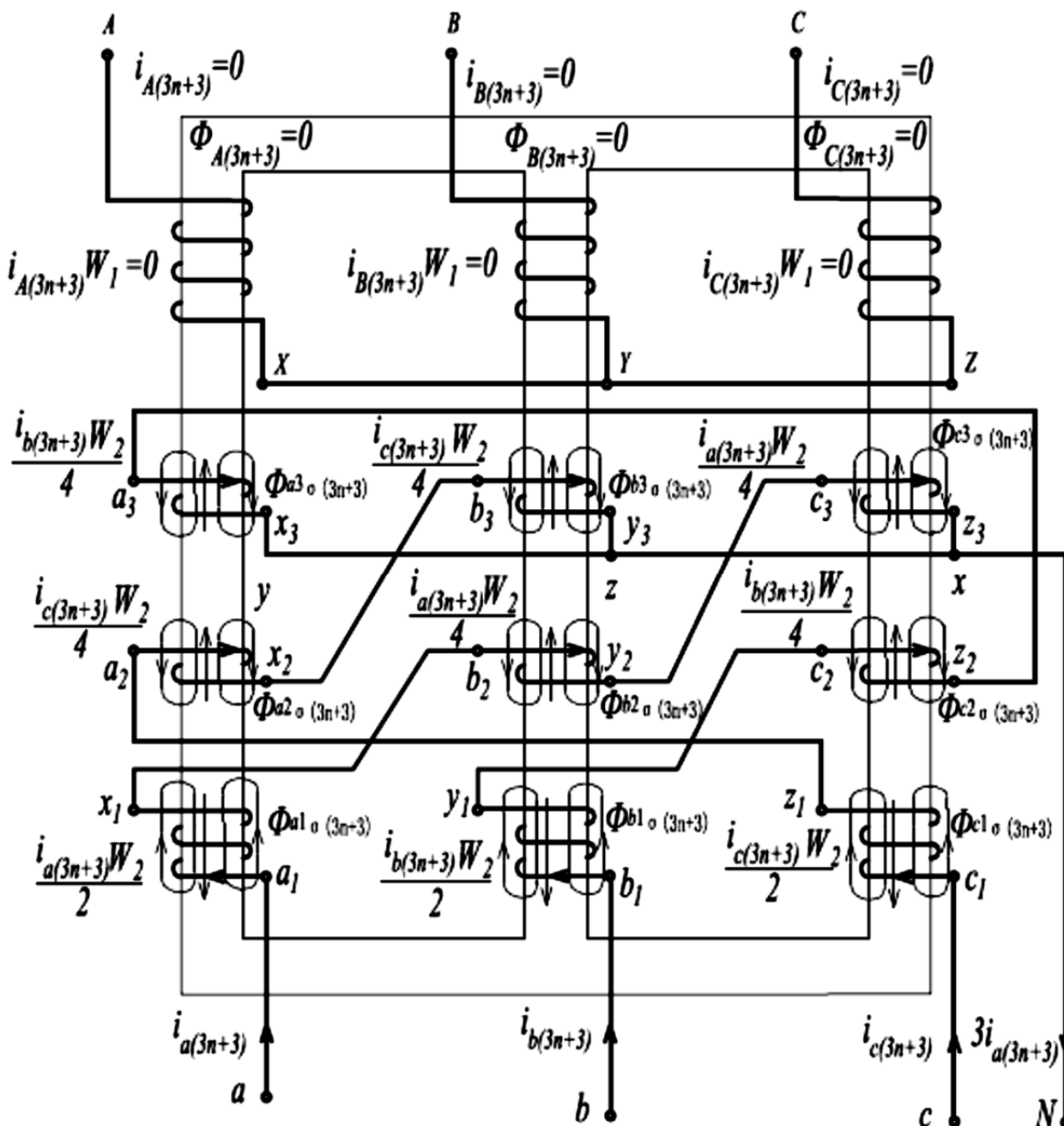


Рис. 2. Схема распределения МДС и магнитных потоков высших гармоник, кратных трем, в трехфазном трансформаторе «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»

$$\begin{aligned}
 &= i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0; \\
 f_{C(3n+3)} &= i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{4} = \\
 &= i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0.
 \end{aligned}$$

Происходит компенсация МДС гармоник нулевой последовательности, а их магнитные потоки в стержнях магнитопровода будут равны нулю:

$$\begin{aligned}
 \Phi_{A(3n+3)} &= \frac{f_{A(3n+3)}}{R_{A\mu(3n+3)}} = 0; \\
 \Phi_{B(3n+3)} &= \frac{f_{B(3n+3)}}{R_{B\mu(3n+3)}} = 0; \\
 \Phi_{C(3n+3)} &= \frac{f_{C(3n+3)}}{R_{C\mu(3n+3)}} = 0,
 \end{aligned} \tag{22}$$

где $R_{A\mu(3n+3)}, R_{B\mu(3n+3)}, R_{C\mu(3n+3)}$ – сопротивления магнитных цепей соответствующих фаз потокам высших гармоник нулевой последовательности, Гн⁻¹.

Вторичная обмотка самостоятельно уравнивает свои намагничивающие силы гармоник нулевой последовательности, устраняя процесс дополнительного подмагничивания ими магнитопровода, что уменьшает магнитные потери в трансформаторе и повышает его КПД.

Токи гармоник нулевой последовательности вторичной обмотки могут создавать только потоки рассеяния $\Phi_{a1\sigma(3n+3)}, \Phi_{a2\sigma(3n+3)}, \Phi_{a3\sigma(3n+3)}, \Phi_{b1\sigma(3n+3)}, \Phi_{b2\sigma(3n+3)}, \Phi_{b3\sigma(3n+3)}, \Phi_{c1\sigma(3n+3)}, \Phi_{c2\sigma(3n+3)}, \Phi_{c3\sigma(3n+3)}$ (рис. 2). Причем поля рассеяния будут тем меньше, чем ближе расположены друг к другу части обмотки.

Так как магнитные потоки гармоник нулевой последовательности в стержнях равны нулю, то и ЭДС, создаваемые ими в обмотках, также будут равны нулю:

$$\begin{aligned}
 e_{A(3n+3)} &= -W_1 \frac{d\Phi_{A(3n+3)}}{dt} = 0; \\
 e_{B(3n+3)} &= -W_1 \frac{d\Phi_{B(3n+3)}}{dt} = 0; \\
 e_{C(3n+3)} &= -W_1 \frac{d\Phi_{C(3n+3)}}{dt} = 0;
 \end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
 e_{a(3n+3)} &= -W_2 \frac{d\Phi_{A(3n+3)}}{dt} = 0; \\
 e_{b(3n+3)} &= -W_2 \frac{d\Phi_{B(3n+3)}}{dt} = 0; \\
 e_{c(3n+3)} &= -W_2 \frac{d\Phi_{C(3n+3)}}{dt} = 0.
 \end{aligned}$$

Следовательно, трансформатор не будет генерировать высшие гармоники напряжений нулевой последовательности, обусловленные нелинейной нагрузкой, в питающую сеть, так как

$$\begin{aligned}
 &\sum U_{mA(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\
 &= -\sum E_{mA(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = 0; \\
 &\sum U_{mB(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\
 &= -\sum E_{mB(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = 0; \tag{24} \\
 &\sum U_{mC(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\
 &= -\sum E_{mC(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = 0.
 \end{aligned}$$

Фазные напряжения первичной обмотки будут содержать только гармоники прямой и обратной последовательности. С учетом выражений (1) и (10) фазное напряжение первичной обмотки фазы «А» равно:

$$\begin{aligned}
 u_A &= \sum U_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] + \\
 &+ \sum U_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] = \\
 &= -\sum E_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] - \\
 &- \sum E_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\
 &+ \sum I_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{1(3n+1)} + \\
 &+ \sum I_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{1(3n+2)}.
 \end{aligned} \tag{25}$$

Для фаз «В», «С» выражения получаем аналогично.

Для вторичных фазных обмоток с учетом (23) получим:

$$\begin{aligned}
 &\sum E_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = 0; \\
 &\sum E_{mb(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = 0; \tag{26} \\
 &\sum E_{mc(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = 0.
 \end{aligned}$$

Тогда с учетом выражения (17), высшие гармоники нулевой последовательности будут вызваны только падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз вторичной обмотки:

$$\begin{aligned} \sum U_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] &= \\ &= -\sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot Z_{2-4(3n+3)}; \\ \sum U_{mb(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] &= \\ &= -\sum I_{mb(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot Z_{2-4(3n+3)}; \\ \sum U_{mc(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] &= \\ &= -\sum I_{mc(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot Z_{2-4(3n+3)}. \end{aligned} \quad (27)$$

Так как на каждом из стержней магнитопровода четверти вторичных фазных обмоток $a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3$ намотаны встречно половинам a_1, b_1, c_1 , то индуктивные составляющие их сопротивлений гармоникам токов нулевой последовательности в значительной степени будут взаимно компенсироваться. Поэтому с небольшой погрешностью можно допустить, что в полных сопротивлениях преобладает активная составляющая:

$$Z_{2-4(3n+3)} \approx r_{2-4(3n+3)}. \quad (28)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \sum U_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] &= \\ &= -\sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{2-4(3n+3)}; \\ \sum U_{mb(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] &= \\ &= -\sum I_{mb(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{2-4(3n+3)}; \\ \sum U_{mc(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] &= \\ &= -\sum I_{mc(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{2-4(3n+3)}. \end{aligned} \quad (29)$$

Вторичное фазное напряжение фазы «А» с учетом вышеизложенного будет равно:

$$\begin{aligned} u_a = \sum U_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] &+ \\ + \sum U_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] &+ \\ + \sum U_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] &= \\ = \sum E_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] &+ \\ + \sum E_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] &- \\ - \sum I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{2-4(3n+1)} &- \\ - \sum I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{2-4(3n+2)} &- \\ - \sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{2-4(3n+3)}. \end{aligned} \quad (30)$$

Для фаз «В», «С» выражения получаем аналогично.

Каждая из гармоник прямой, обратной и нулевой последовательности вторичных напряжений будет равна сумме соответствующих значений трех ее частей. Например, для фазы «а»:

$$\begin{aligned} u_{a(3n+1)} = U_{mc3(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)} - \pi] &+ \\ + U_{mb2(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)} - \pi] &+ \\ + U_{ma1(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] &= \\ = E_{mc3(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)} - \pi] &+ \\ + E_{mb2(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)} - \pi] &+ \\ + E_{ma1(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] &- \\ - I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{4(3n+1)} &- \\ - I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{3(3n+1)} &- \\ - I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{2(3n+1)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{a(3n+2)} = U_{mc3(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)} - \pi] &+ \\ + U_{mb2(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)} - \pi] &+ \\ + U_{ma1(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] &= \\ = E_{mc3(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)} - \pi] &+ \\ + E_{mb2(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)} - \pi] &+ \\ + E_{ma1(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] &- \\ - I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{4(3n+2)} &- \\ - I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{3(3n+2)} &- \\ - I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{2(3n+2)}; \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} u_{a(3n+3)} = U_{mc3(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)} - \pi] &+ \\ + U_{mb2(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)} - \pi] &+ \\ + U_{ma1(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] &= \\ = -I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{4(3n+3)} &- \\ - I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{3(3n+3)} &- \\ - I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{2(3n+3)}, \end{aligned}$$

где $U_{ma1(3n+1)}, U_{ma1(3n+2)}, U_{ma1(3n+3)}$ – амплитудные значения гармоник напряжений прямой, обратной и нулевой последовательности половины a_1 вторичной обмотки фазы «а», В;

$U_{mb2(3n+1)}, U_{mb2(3n+2)}, U_{mb2(3n+3)}$ – амплитудные значения гармоник напряжений прямой, обратной и нулевой последовательности четверти b_2 вторичной обмотки фазы «а», В;

$U_{mc3(3n+1)}, U_{mc3(3n+2)}, U_{mc3(3n+3)}$ – амплитудные значения гармоник напряжений прямой, обратной и нулевой последовательности четверти c_3 вторичной обмотки фазы «а», В;

$E_{ma1(3n+1)}, E_{ma1(3n+2)}, E_{ma1(3n+3)}$ – амплитудные значения гармоник ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательности половины a_1 вторичной обмотки фазы «а», В;

$E_{mb2(3n+1)}, E_{mb2(3n+2)}, E_{mb2(3n+3)}$ – амплитудные значения гармоник ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательности четверти b_2 вторичной обмотки фазы «а», В;

$E_{mc3(3n+1)}, E_{mc3(3n+2)}, E_{mc3(3n+3)}$ – амплитудные значения гармоник ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательности четверти c_3 вторичной обмотки фазы «а», В;

$r_{2(3n+3)}$ – активные сопротивления половин a_1, b_1, c_1 вторичных фазных обмоток токам высших гармоник нулевой последовательности, Ом;

$r_{3(3n+3)}$ – активные сопротивления четвертей a_2, b_2, c_2 вторичных фазных обмоток токам высших гармоник нулевой последовательности, Ом;

$r_{4(3n+3)}$ – активные сопротивления четвертей a_3, b_3, c_3 вторичных фазных обмоток токам высших гармоник нулевой последовательности, Ом.

Тогда для высших гармоник частот a_1, b_2, c_3 вторичной обмотки фазы «а» будут справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} & U_{ma1(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] = \\ & = E_{ma1(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] - \\ & - I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{2(3n+1)}; \\ & U_{mb2(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)} - \pi] = \\ & = E_{mb2(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)} - \pi] - \\ & - I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{3(3n+1)}; \\ & U_{mc3(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)} - \pi] = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & = E_{mc3(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+1)} - \pi] - \\ & - I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{4(3n+1)}; \\ & U_{ma1(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] = \\ & = E_{ma1(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] - \\ & - I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{2(3n+2)}; \\ & U_{mb2(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)} - \pi] = \\ & = E_{mb2(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)} - \pi] - \\ & - I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{3(3n+2)}; \\ & U_{mc3(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)} - \pi] = \\ & = E_{mc3(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t - \frac{2}{3}\pi + \varphi_{(3n+2)} - \pi] - \\ & - I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{4(3n+2)}; \\ & U_{ma1(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ & = -I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{2(3n+3)}; \\ & U_{mb2(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)} - \pi] = \\ & = -I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{3(3n+3)}; \\ & U_{mc3(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)} - \pi] = \\ & = -I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{4(3n+3)}. \end{aligned} \quad (32)$$

Так как токи, напряжения и ЭДС изменяются по синусоидальному закону, то соотношения (32) можно представить в комплексной форме:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{a1(3n+1)} &= \underline{E}_{a1(3n+1)} - \underline{I}_{a(3n+1)} \underline{Z}_{2(3n+1)}; \\ \underline{U}_{b2(3n+1)} &= \underline{E}_{b2(3n+1)} - \underline{I}_{a(3n+1)} \underline{Z}_{3(3n+1)}; \\ \underline{U}_{c3(3n+1)} &= \underline{E}_{c3(3n+1)} - \underline{I}_{a(3n+1)} \underline{Z}_{4(3n+1)}; \\ \underline{U}_{a1(3n+2)} &= \underline{E}_{a1(3n+2)} - \underline{I}_{a(3n+2)} \underline{Z}_{2(3n+2)}; \\ \underline{U}_{b2(3n+2)} &= \underline{E}_{b2(3n+2)} - \underline{I}_{a(3n+2)} \underline{Z}_{3(3n+2)}; \\ \underline{U}_{c3(3n+2)} &= \underline{E}_{c3(3n+2)} - \underline{I}_{a(3n+2)} \underline{Z}_{4(3n+2)}; \\ \underline{U}_{a1(3n+3)} &= -\underline{I}_{a(3n+3)} r_{2(3n+3)}; \\ \underline{U}_{b2(3n+3)} &= -\underline{I}_{a(3n+3)} r_{3(3n+3)}; \\ \underline{U}_{c3(3n+3)} &= -\underline{I}_{a(3n+3)} r_{4(3n+3)}. \end{aligned} \quad (33)$$

Аналогичным образом получим соотношения для частей вторичной обмотки фазы «b» и «с».

Для высших гармоник первичных фазных напряжений:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{A(3n+1)} &= -\underline{E}_{A(3n+1)} + \underline{I}_{A(3n+1)} \underline{Z}_{1(3n+1)}; \\ \underline{U}_{B(3n+1)} &= -\underline{E}_{B(3n+1)} + \underline{I}_{B(3n+1)} \underline{Z}_{1(3n+1)}; \\ \underline{U}_{C(3n+1)} &= -\underline{E}_{C(3n+1)} + \underline{I}_{C(3n+1)} \underline{Z}_{1(3n+1)}; \\ \underline{U}_{A(3n+2)} &= -\underline{E}_{A(3n+2)} + \underline{I}_{A(3n+2)} \underline{Z}_{1(3n+2)}; \\ \underline{U}_{B(3n+2)} &= -\underline{E}_{B(3n+2)} + \underline{I}_{B(3n+2)} \underline{Z}_{1(3n+2)}; \\ \underline{U}_{C(3n+2)} &= -\underline{E}_{C(3n+2)} + \underline{I}_{C(3n+2)} \underline{Z}_{1(3n+2)}; \end{aligned} \quad (34)$$

$$\underline{U}_{A(3n+3)} = 0;$$

$$\underline{U}_{B(3n+3)} = 0;$$

$$\underline{U}_{C(3n+3)} = 0.$$

Если первичные обмотки и части вторичных обмоток, размещенные на одном стержне, рассматривать как обмотки четырехобмоточного трансформатора, то на основании выражений (33) – (34) получим его схемы замещения для токов высших гармоник прямой, обратной и нулевой последовательности. На рисунках 3-5 представлены схемы замещения для обмоток, расположенных на стержне магнитопровода

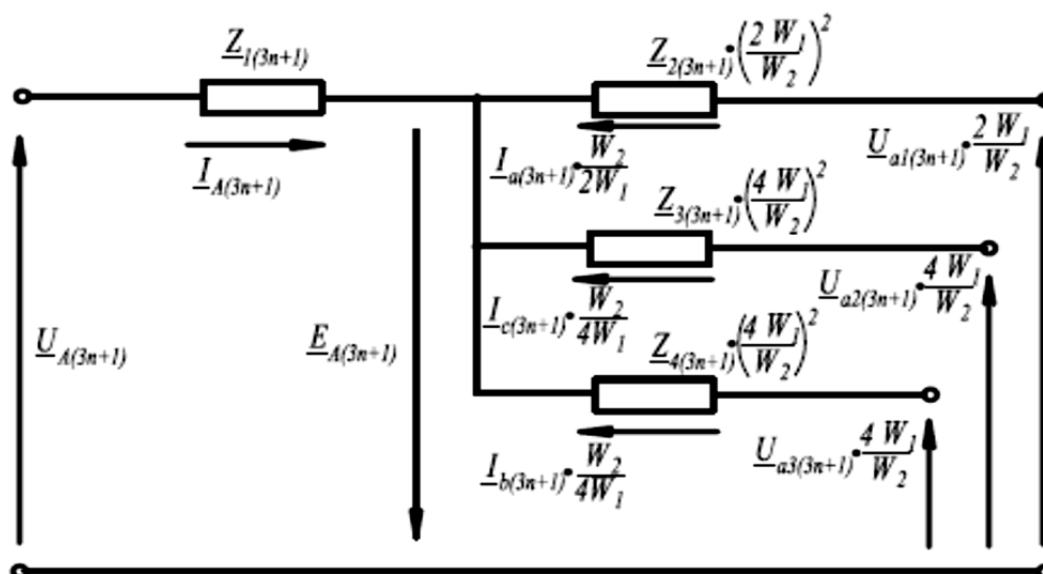


Рис. 3. Схема замещения трансформатора «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» для токов высших гармоник прямой последовательности

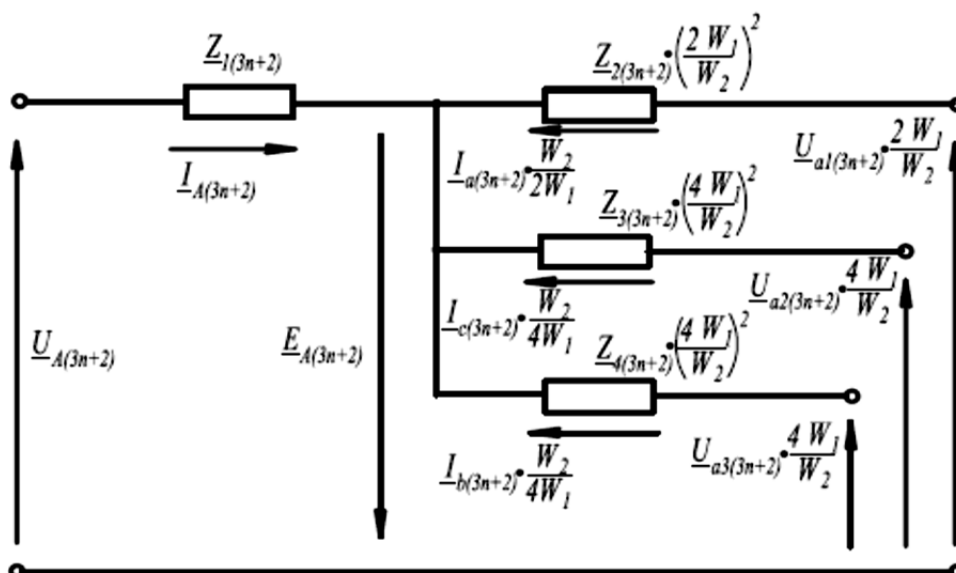


Рис. 4. Схема замещения трансформатора «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» для токов высших гармоник обратной последовательности

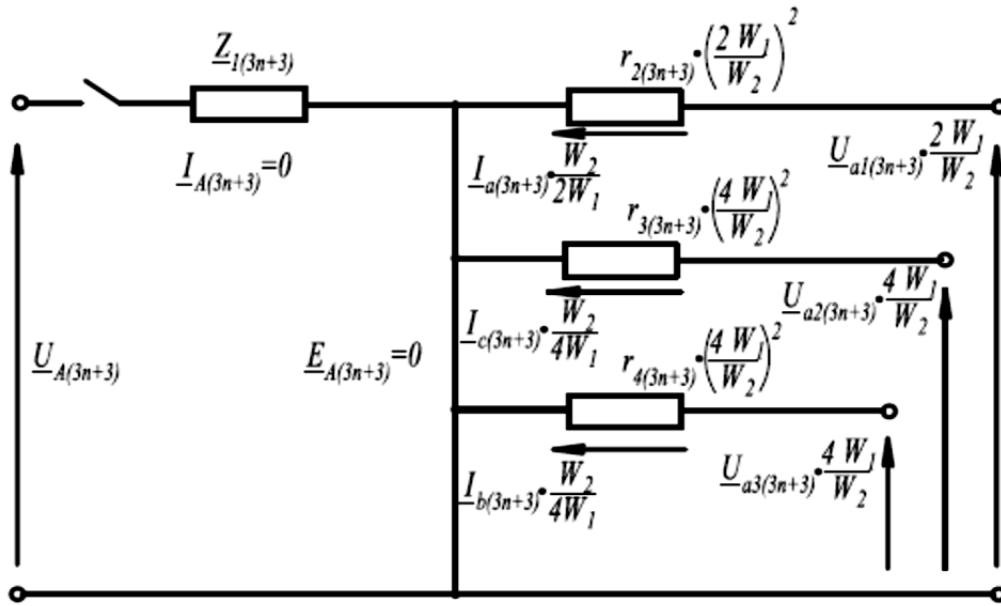


Рис. 5. Схема замещения трансформатора «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» для токов высших гармоник нулевой последовательности

фазы «А». Стрелками показаны положительные направления напряжений, токов и ЭДС.

Для обмоток фазы «А» будет следующее соотношение высших гармоник прямой и обратной последовательностей первичной и вторичной стороны:

$$\begin{aligned} & \sum U_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ & + \sum U_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega t + \varphi_{(3n+2)}] - \\ & - \sum I_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{1(3n+1)} - \\ & - \sum I_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{1(3n+2)} = \\ & = - \sum \frac{W_1}{W_2} U_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega t + \varphi_{(3n+1)}] - \\ & - \sum \frac{W_1}{W_2} U_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega t + \varphi_{(3n+2)}] - \\ & - \sum \frac{W_2}{W_1} I_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{2-4(3n+1)} - \\ & - \sum \frac{W_2}{W_1} I_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{2-4(3n+2)}. \end{aligned} \quad (35)$$

Гармоники тока прямой и обратной последовательности трансформируются с вторичной стороны на первичную, и наоборот.

Сопротивление короткого замыкания трансформатора высшим гармоникам равно:

$$Z_{K(3n+e)} = Z_{1(3n+e)} + \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 Z_{2-4(3n+e)}, \quad (36)$$

С учетом, что

$$\frac{W_2}{W_1} I_{ma(3n+1)} = I_{mA(3n+1)}; \quad (37)$$

$$\frac{W_2}{W_1} I_{ma(3n+2)} = I_{mA(3n+2)},$$

получим

$$\begin{aligned} & \sum U_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega t + \varphi_{(3n+1)}] + \\ & + \sum U_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega t + \varphi_{(3n+2)}] - \\ & - \sum I_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{K(3n+1)} - \\ & - \sum I_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{K(3n+2)} = \\ & = - \sum \frac{W_1}{W_2} U_{ma(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega t + \varphi_{(3n+1)}] - \\ & - \sum \frac{W_1}{W_2} U_{ma(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega t + \varphi_{(3n+2)}]. \end{aligned} \quad (38)$$

Для высших гармоник нулевой последовательности:

$$\begin{aligned} & \sum U_{mA(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ & = - \sum \frac{W_1}{W_2} U_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega t + \varphi_{(3n+3)}] - \\ & - \sum \frac{W_2}{W_1} I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot \\ & \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 r_{2-4(3n+3)} = 0, \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} & \text{откуда} \\ & -\sum \frac{W_1}{W_2} U_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] = \\ & = \sum \frac{W_2}{W_1} I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot \\ & \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 r_{2-4(3n+3)}. \end{aligned} \quad (40)$$

Сложив (38) и (40), получим:

$$\begin{aligned} u_a = & -\sum \frac{W_2}{W_1} U_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] - \\ & -\sum \frac{W_2}{W_1} U_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] + \\ & + \sum \frac{W_2}{W_1} I_{mA(3n+1)} \sin[(3n+1)\omega_1 t + \varphi_{(3n+1)}] \cdot Z_{K(3n+1)} + \\ & + \sum \frac{W_2}{W_1} I_{mA(3n+2)} \sin[(3n+2)\omega_1 t + \varphi_{(3n+2)}] \cdot Z_{K(3n+2)} - \\ & - \sum I_{ma(3n+3)} \sin[(3n+3)\omega_1 t + \varphi_{(3n+3)}] \cdot r_{2-4(3n+3)}. \end{aligned} \quad (41)$$

Аналогичным образом определим напряжения фаз «В» и «С» вторичной стороны трансформатора.

Заключение

1. Искажение синусоидальности напряжений трансформатора обусловлено высшими гармониками прямой и обратной последовательности, которые трансформируются с первичной на вторичную сторону, и наоборот, а также падениями напряжений от

токов высших гармоник прямой и обратной последовательности на сопротивлениях обмоток.

2. Улучшение формы кривой напряжения происходит вследствие компенсации кратных трех высших гармоник, а их остаточные значения обусловлены падениями напряжений от соответствующих токов на активных сопротивлениях фаз вторичной обмотки. Трансформатор не будет генерировать высшие гармоники напряжений нулевой последовательности, обусловленные нелинейной нагрузкой, в питающую сеть.

3. Вторичная обмотка самостоятельно уравновешивает свои намагничивающие силы гармоник нулевой последовательности, устраняя процесс дополнительного подмагничивания ими магнитопровода, что уменьшает магнитные потери в трансформаторе и повышает его КПД. При этом магнитная система трансформатора уравновешена относительно всех гармоник.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: пат. 16008 Респ. Беларусь / А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга; заявитель Белор. гос. аграрн. техн. ун-т. – № а 20100121; заявл. 2010.02.01; опубл. 30.06.2012.
2. 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. Зеленкевич // Агропанорама. – 2017. – № 5. – С. 16-25.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.01.2018

“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 2018 года: для индивидуальных подписчиков - 18,30 руб., ведомственная подписка - 19,89 руб.

КОНТРОЛЬ РАСХОДА ТОПЛИВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

А.А. Мажей,

инженер ГУ «Белорусская машиноиспытательная станция»

А.А. Ракицкий,

заместитель директора по научной работе Республиканского института инновационных технологий БНТУ,
канд. техн. наук, профессор

В статье приведены результаты исследования гидравлического сопротивления датчиков расхода топлива, а также изложены рекомендации по их применению в системах мониторинга эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: датчик расхода топлива, дизельный двигатель, топливный насос, гидравлическое сопротивление, ГЛОНАСС.

The article presents the results of a study of the hydraulic resistance of fuel consumption monitoring sensors, as well as recommendations on the use of sensors for controlling fuel consumption in agricultural machinery monitoring systems.

Keywords: fuel consumption sensor, diesel engine, fuel consumption, fuel pump, hydraulic resistance, GLONASS.

Введение

Контроль расхода топлива в агропромышленном комплексе является актуальной задачей. Установленные системы контроля расхода имеют достаточно быструю окупаемость, как правило, в сочетании с желанием руководства предприятия добиться экономического эффекта. Внедрение систем контроля расхода топлива предусмотрено поручением Совета Министров Республики Беларусь № 06/217-1073 от 03.12.2015. В настоящее время недостаточно раскрыты вопросы эксплуатации датчиков расхода топлива на современной технике агропромышленного комплекса. В источнике [1] описаны общие возможности систем бортового контроля расхода топлива на базе датчиков расхода топлива, при этом отсутствуют практические советы по выбору соответствующих датчиков. В источнике [2] приведен общий обзор методов контроля расхода топлива на мобильных машинах. Цель данной работы заключается в выработке рекомендаций по применению оборудования для мониторинга расхода топлива в сельском хозяйстве, включая технологии его обслуживания.

Основная часть

Датчики расхода дизельного топлива являются ключевым элементом в системах контроля расхода топлива автотракторной техники. Они обычно используются либо в составе систем GPS/ГЛОНАСС – мониторинга либо функционируют автономно.

Самым весомым доводом к использованию расходомеров является их высокая точность: ошибка измерения не превышает нескольких процентов. Наиболее широкое распространение получили системы мониторинга расхода на основе датчиков уровня

топлива в баке. Однако в сельском хозяйстве такой метод контроля не всегда дает адекватные результаты. На многих моделях техники сложная геометрическая форма бака (рис. 1) и специфика ее эксплуатации не дают возможности получать точные и однозначные данные о расходе топлива. Необходимо анализировать графики объема топлива в баке, так как система мониторинга в попытках определить событие «слива» либо «заправки» постоянно создает «ложные» сигналы, несоответствующие действительности.

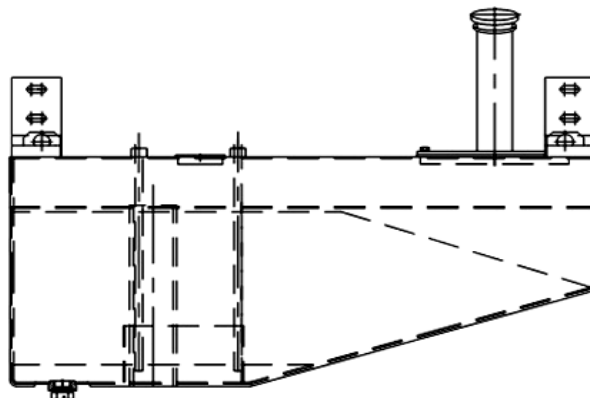


Рис. 1. Топливный бак Амкодор

На рис. 2 приведен пример графика, полученного авторами с помощью программного обеспечения мониторинга транспорта Wialon. Отследить «утечку» пяти литров топлива невозможно, так как флуктуации показаний датчика уровня топлива в процессе нормальной работы превышают эту величину.

В системе мониторинга с функцией контроля расхода топлива важна определенность. Когда мы имеем дело с хищениями топлива, очень важно не

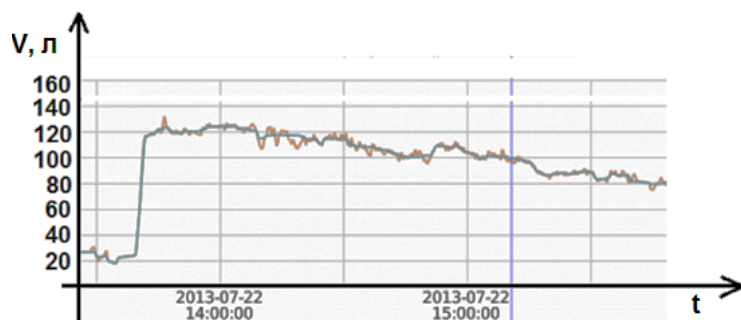


Рис. 2. Изменение объема топлива в несимметричном баке

допустить подрыва авторитета системы. Весьма недопустимо, когда по вине системы происходит наказание невинных лиц. Практически невозможно отследить небольшой забор топлива непосредственно из бака, не говоря уже о том, что это можно сделать из обратной магистрали через небольшое сечение. Поэтому многие заказчики обоснованно склоняются к установке расходомеров топлива. За последние годы накоплен значительный опыт их использования на сельскохозяйственной технике в Республике Беларусь.

По конструктивному исполнению расходомеры дизельного топлива бывают двух типов: однокамерные и двухкамерные (дифференциальные) (рис. 3). Дифференциальные измеряют расход топлива двигателем как разницу между объемом топлива, поступающим в двигатель и возвращающимся в бак. Однокамерные требуют переделки схемы топливоподачи так, чтобы измерять только потребление двигателя.

Применяемые датчики относятся к камерным кольцевым счетчикам жидкости [3]. Датчик расхода включается при подаче на него напряжения питания и измеряет объем топлива, протекающего через измерительную камеру. Под давлением жидкости, поступающей через впускное отверстие 1, кольцо 4 катится по внутренней поверхности камеры 3 и одновременно скользит вдоль перемычки 5. Кольцо вытесняет жидкость, заключенную внутри и снаружи кольца, из камеры в выпускное отверстие 2 (рис. 4).

За один оборот кольца вытесняется объем жидкости, равный объему камеры. При этом электронные датчики положения вырабатывают импульсы по мере оборота кольца, которые передаются в электронный блок по выбранному интерфейсу.

Главным достоинством кольцевого счетчика является простота его устройства, прежде всего движущегося элемента — кольца. Это упрощает и облегчает разборку и очистку счетчика. Вследствие этого такие конструкции счетчиков широко применяются при измерении расхода различных жидких пищевых продуктов, т. е. там, где требуется частая разборка и чистка.

Общеизвестная схема установки однокамерного расходомера приведена на рис. 5. При учете расхода топлива обычно пренебрегают объемом топлива в обратной магистрали форсунок, ввиду его незначительности (1-3 % от расхода топлива двигателем на исправной топливной аппаратуре).

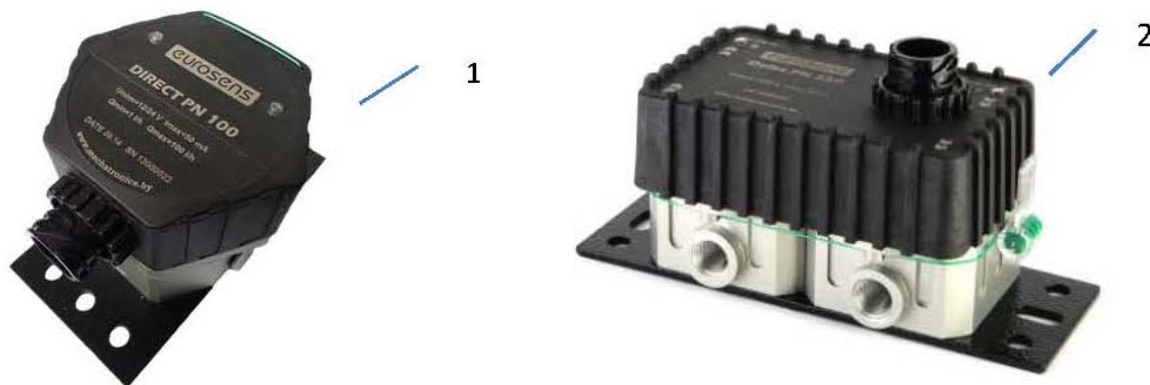


Рис. 3. Общий вид расходомеров дизельного топлива:
1 — однокамерный; 2 — двухкамерный (дифференциальный)

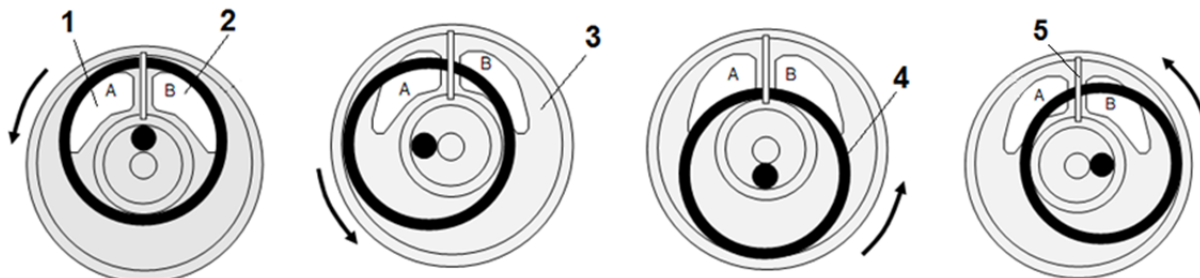


Рис. 4. Схема работы измерительной камеры кольцевого камерного расходомера:
1 — впускное отверстие; 2 — выпускное отверстие; 3 — камера; 4 — кольцо; 5 — перемычка

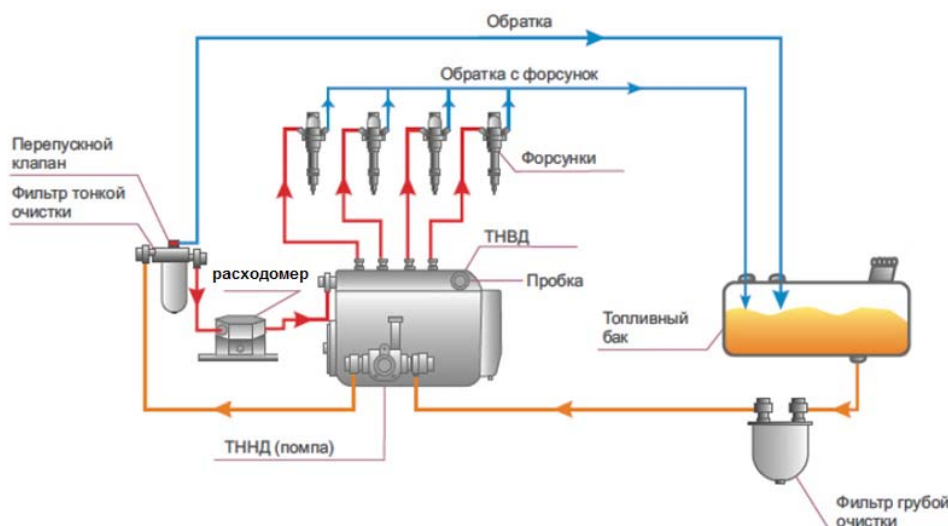


Рис. 5. Схема установки однокамерного расходомера

Как можно видеть, обратная магистраль теперь возвращает топливо в бак с фильтра тонкой очистки топлива до установленного однокамерного расходомера. Говорить о том, что давление во впускном канале топливного насоса высокого давления (ТНВД) вырастет, нет оснований, так как его сброс осуществляется тем же перепускным клапаном, но установленным в другом месте. Минусом установки однокамерного расходомера и данной схемы является повышенный нагрев ТНВД, поскольку циркулирующий через впускной канал объем топлива уменьшается в несколько раз. На высоконагруженной технике можно обнаружить потерю мощности.

Некоторые расходомеры не определяют направление потока топлива. Ввиду пульсаций топлива в магистрали это может привести к неверным показаниям расхода, отличающимся в разы. Для исключения такого явления в топливную магистраль рядом с расходомером дополнительно устанавливается обратный клапан, запирающий поток топлива из ТНВД в направлении расходомера. Таким образом, он отключает полость ТНВД и каналы подачи топлива к

плунжерам от разгружающего (перепускного) клапана. Ввиду малой сжимаемости дизельного топлива это может привести к резким повышениям давления при работе плунжерных пар и нарушению процесса топливоподачи.

В последнее время более популярными становятся дифференциальные расходомеры. Они не изменяют режим работы топливной аппаратуры при условии правильного выбора расходомера, вспомогательных переходников и трубопроводов и их установки (рис. 6).

Через дифференциальный расходомер проходит не только объем топлива, потребляемый двигателем в единицу времени, но и излишек топлива, возвращающийся в топливный бак. Оба эти параметра в сумме равны производительности топливного насоса низкого давления (ТННД). Если часовой расход топлива двигателем является известной величиной, то производительность ТННД обычно неизвестна, хотя и превышает расход топлива в несколько раз. В то же время именно по этому параметру требуется выбирать дифференциальный расходомер.

При расходах топлива свыше 200 литров в час

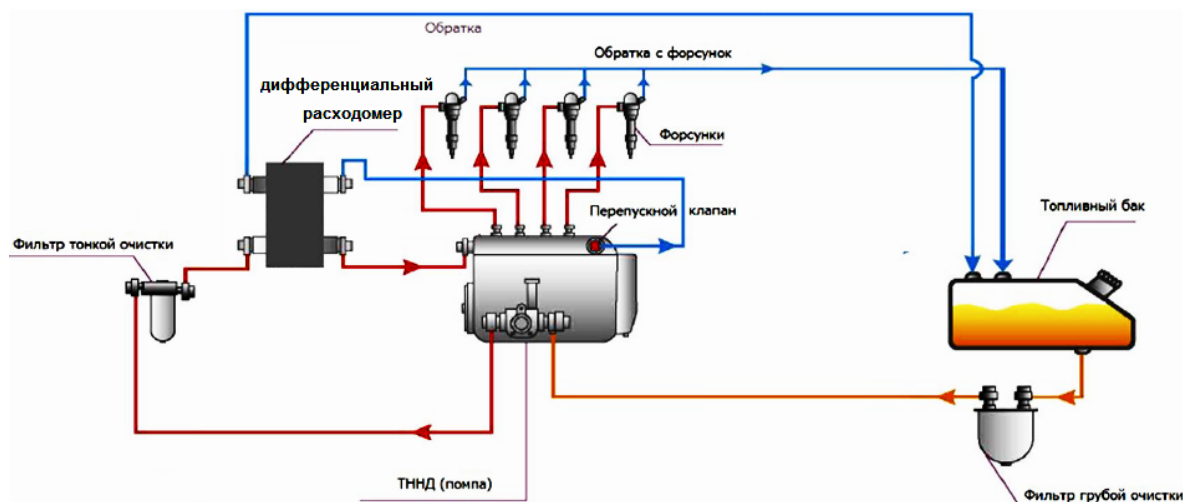


Рис. 6. Схема установки дифференциального расходомера

особо важными становятся гидравлические сопротивления всех элементов топливной системы. Если выбрать расходомер с недостаточным максимальным расходом топлива, это придет к повышенному гидравлическому сопротивлению потоку. Когда сумма сопротивлений от топливных шлангов малого диаметра, фильтра тонкой очистки, расходомера и добавленных в систему фитингов становится существенной, можно ожидать потерю мощности.

Таким образом, при подборе дифференциального расходомера необходимо учитывать производительность топливоподкачивающего насоса (табл. 1).

Таблица 1. Производительность топливоподкачивающих насосов

Применяемость	Производительность, л/мин
Дизели ЯМЗ-6561.10, 6562.10, 6563.10-03, 6581.10, 6583.10, 6582.10, 6582.10-02	2,2
Дизели ЯМЗ-238 Н, ФМ и др. модели	2,5
Дизель Deutz TCD 2013 L06 4V, 300 л.с. (трактор Fendt 930 Vario)	6,5
Дизель Д-260.2/С (Трактор «Беларус-1221/1222», автогрейдер ГС-1402, погрузчик ТО-18Б-3 «Амкодор» Минск «КЭЗ»)	2,1
Дизель Cat 3512, 1020 кВт	20,0

При установке расходомера в топливную систему с расходами от 200 литров в час в подаче и обкатке рекомендуется применять топливные штуцеры типа «елочка» вместо традиционных пар болт-угольник (рис. 7). Авторами установлено, что соединения типа «болт-угольник» с изменением направле-

ния потока топлива на 90° создают гидравлическое сопротивление, превышающее сопротивление самого расходомера.

По этой же причине при монтаже расходомеров следует избегать применения обратных клапанов, необходимых в том случае, когда расходомер «не умеет» определять направление потока топлива. Гидравлическое сопротивление обратного клапана может привести к потере мощности двигателя.

В данной работе исследовалось гидравлическое сопротивление расходомеров Eurosens (с присоединительными угольниками) при вязкости дизельного топлива 4 мм²/с. Результаты измерений приведены на рис. 8, 9.

Давление открытия штатного перепускного клапана в ТНВД составляет 50-200 кПа. Из рис. 8 видно, что при установке расходомера серии 250 на дизельный двигатель, где производительность топливоподкачивающего насоса превышает 250 литров в час, гидравлическое сопротивление расходомера вместе с сопротивлением дополнительных штуцеров может превышать давление открытия клапана. В этом случае наблюдается потеря мощности, так как ТНВД не обеспечивается топливом в нужном объеме.

Серьезной проблемой эксплуатации расходомеров является наличие загрязнений в топливе. Это касается как однокамерных, так и дифференциальных расходомеров. Как можно видеть на рис. 5 и 6, расходомеры всегда устанавливаются после фильтра тонкой очистки. Степень его фильтрации

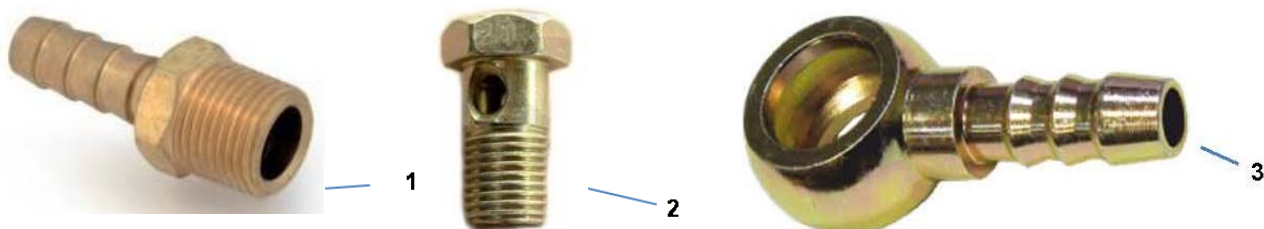


Рис. 7. Элементы соединений: 1 – штуцер типа «елочка»; 2 – болт; 3 – угольник

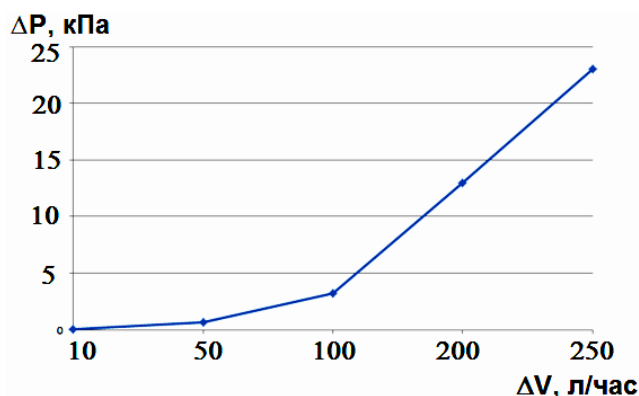


Рис. 8. Зависимость падения давления от расхода топлива для датчиков Eurosens серии 250

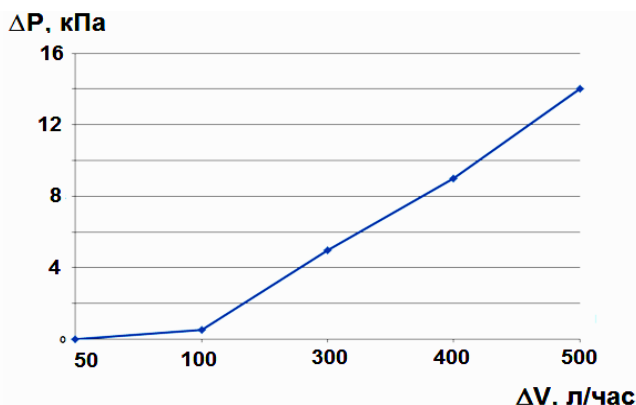


Рис. 9. Зависимость падения давления от расхода топлива для датчиков Eurosens серии 500

вполне позволяет расходомерам работать долго и надежно. Однако по информации производителей, свыше 95 % выходов из строя расходомеров происходят по причине загрязнений, которые выводят из строя и топливную аппаратуру дизеля. В этом случае расходомеры сигнализируют о необходимости замены фильтров тонкой очистки.

Для снижения затрат на эксплуатацию системы мониторинга транспорта с функцией контроля расхода топлива, предприятиям целесообразно освоить очистку расходомеров самостоятельно. Тем более, что кольцевой принцип их действия способствует легкой разборке и сборке. Надо отметить, что большинство производителей расходомеров дизельного топлива запрещают их вскрытие для очистки неаттестованными сервисными центрами. Это приводит к необходимости демонтажа расходомера для его отправки в сервисный центр, транспортным расходам и эксплуатации мобильной машины без средства учета. Эта операция существенно снижает эффективность оснащения расходомерами топлива и повышает стоимость их обслуживания.

Заключение

1. Использование расходомеров дизельного топлива позволяет создать эффективную систему контроля фактического расхода топлива, прежде всего на сельскохозяйственной и специальной технике, имеющей несимметричную форму бака.

2. Дифференциальные расходомеры топлива не оказывают влияния на работу двигателя в том случае, если работают в паспортном диапазоне расходов. Если мгновенный расход топлива в магистрали превышает установленный производителем максимальный

расход через камеру расходомера, то может наблюдаться падение мощности двигателя.

3. Для минимизации влияния на работу двигателя рекомендуется выбирать расходомеры, не требующие установки обратного клапана в топливной магистрали.

4. Для снижения издержек эксплуатации рекомендуется выбирать расходомеры, допускающие простую разборку и обслуживание силами эксплуатирующего предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков, А.В. Об эффективности использования современных технических средств для учета расхода дизельного топлива / А.В. Новиков, Ю.И. Томкунас, В.В. Полторан, А.А. Мажей // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: доклады Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 12-13 июня 2008 г. : в 2-х ч.; под ред. А. А. Бренч [и др.] . – Минск: БГАТУ, 2008. – Ч. 1. – С. 369-371.

2. Мальцев, Н.Г. Современные методы контроля расхода топлива и их применение для мониторинга режимов работы автотракторной техники / Н. Г. Мальцев, Ю. Д. Карпиевич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: доклады Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 16-17 октября 2013 г. – Минск: БГАТУ, 2013. – С. 35-39.

3. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник: в 2-х кн. / П.П. Кремлевский; под общ. ред. Е. А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 14.06.2017

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход – 4-20 мА, а также интерфейс – RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна
Основная абсолютная погрешность
Температура контролируемого материала
Цена деления младшего разряда блока индикации
Напряжение питания
Потребляемая мощность

от 9 до 25 %
не более 0,5 %
от +5 до +65 °С
0,1 %
220 В 50 Гц
30 ВА

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ПРИВОДНОГО И ТОРМОЗНОГО АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ В ОБКАТОЧНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДАХ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

М.А. Прищепов,

проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, докт. техн. наук, доцент

Д.М. Иванов,

аспирант каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ

Е.М. Прищепова,

ст. преподаватель каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ

В статье представлен разработанный алгоритм расчета номинальной мощности приводного и тормозного асинхронных двигателей при частотном регулировании в обкаточно-испытательных стендах механических передач.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, частотно-регулируемый электропривод, обкаточно-испытательный стенд, механическая передача, технологические требования, скоростная и нагрузочная диаграммы, алгоритм расчета.

The article presents an algorithm for calculating the rated power of a driving and braking asynchronous motor with frequency control in the run-test stands of mechanical transmissions.

Keywords: asynchronous motor, frequency-controlled electric drive, run-test bench, mechanical transmission, technological requirements, speed and load diagrams, calculation algorithm.

Введение

Процесс обкатки и испытания механических передач является важной завершающей операцией при их изготовлении и ремонте. Данная операция проводится как на холостом ходу (без нагрузки), так и под нагрузкой. Наиболее затратной является обкатка и испытание механических передач под нагрузкой, которая требует использования мощного приводного и тормозного асинхронных двигателей и значительных энергозатрат. Поэтому электропривод стенда должен в наибольшей степени обеспечивать технологические требования обкатки и испытания передачи и обладать обоснованными капитальными и эксплуатационными затратами [1-3]. Только в этом случае можно обеспечивать высокопроизводительную, надежную и экономичную работу обкаточно-испытательного стенда. При этом электропривод проектируется совместно с проектированием стенда исходя из технологических требований на обкатку и испытание передачи.

Основная часть

Определение номинальных мощности и частоты вращения приводного и тормозного электродвигателей обкаточно-испытательного стенда механических передач является наиболее трудоемким и ответственным этапом проектирования электропривода. Применение двигателей завышенной мощности приводит к

увеличению капитальных и эксплуатационных затрат, связанных со снижением КПД и коэффициента мощности асинхронных двигателей (АД). Если выбрать двигатель недостаточной мощности, то в этом случае возникает его тепловая перегрузка, ускоренное старение изоляции и сокращение срока службы.

Длительное воздействие нагрузки на двигатель ограничивается допустимым нагревом, а кратковременное – перегрузочной способностью. Определение воздействий нагрузки на приводной и тормозной двигатели производят исходя из технологических требований на обкатку механической передачи. Как правило, в технологических требованиях на обкатку скоростная диаграмма задается на ведущем (входном) валу механической передачи (рис. 1а) и нагрузочная диаграмма на ведомом (выходном) валу (рис. 2б). Зная передаточное отношение механической передачи, производится соответствующий расчет скоростей и моментов по формулам 1 и 2 на обоих валах, и скоростные, и нагрузочные диаграммы строятся для ее ведущего и ведомого валов (рис.1, 2). Если механическая передача имеет несколько ступеней, т.е. обкатывается коробка перемены передач (КПП) транспортного средства, то пересчет производится для каждой ступени.

$$\omega_{\text{торм}} = \frac{\omega_{\text{вед}}}{PP}, \quad (1)$$

где $\omega_{вед}$ – угловая скорость ведущего вала на соответствующей ступени механической передачи, рад/с;

PP – передаточное число соответствующей ступени механической передачи, о.е.

$$M_{вед} = \frac{M_{торм}}{\eta_{пер} \cdot PP \cdot \omega_{вед}}, \quad (2)$$

где $M_{торм}$ – тормозной момент на ведомом валу, на соответствующей передаче и скоростной ступени обкатки, Н·м;

$\eta_{пер}$ – коэффициент полезного действия испытуемой механической передачи, о.е.

Из нагрузочных диаграмм приводного и тормозного двигателей очевидно, что за цикл, т.е. промежуток времени t_u , через который нагрузочная диаграмма повторяется, можно принять все время обкатки передачи, несмотря на то, что у скоростной диаграммы приводного двигателя есть повторяемость на каждой ступени механической передачи (рис. 1а). Так как время цикла будет более 10 минут, то в соответствии с характеристикой номинальных режимов двигателей

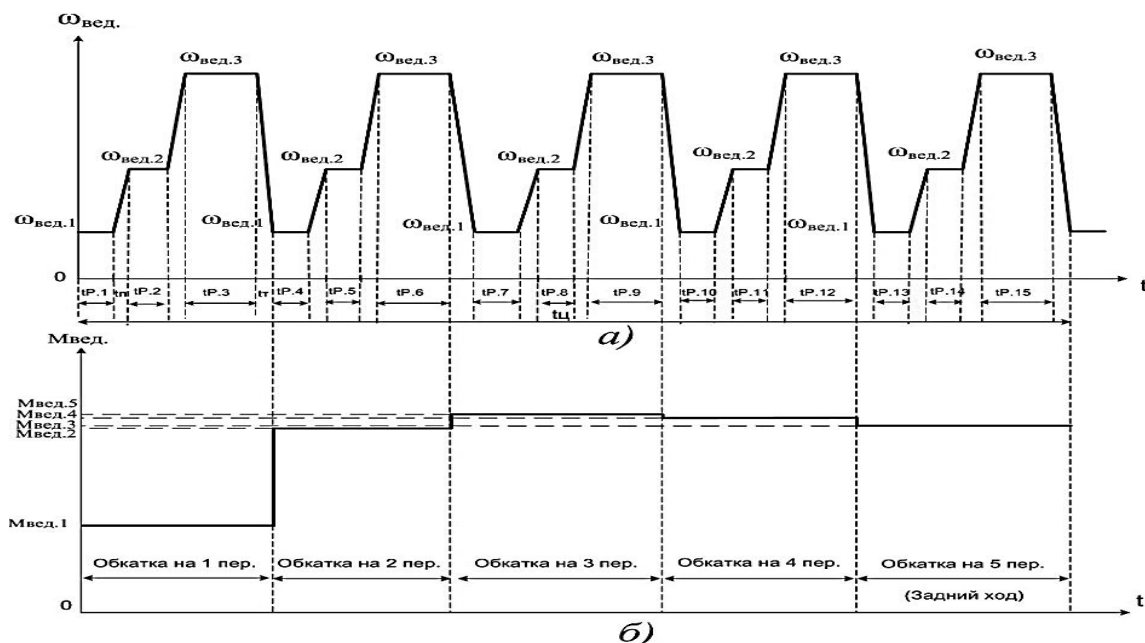


Рис. 1. Скоростная (а) и нагрузочная (б) диаграммы на ведущем валу (входном валу) многоступенчатой (пятиступенчатой) механической передачи

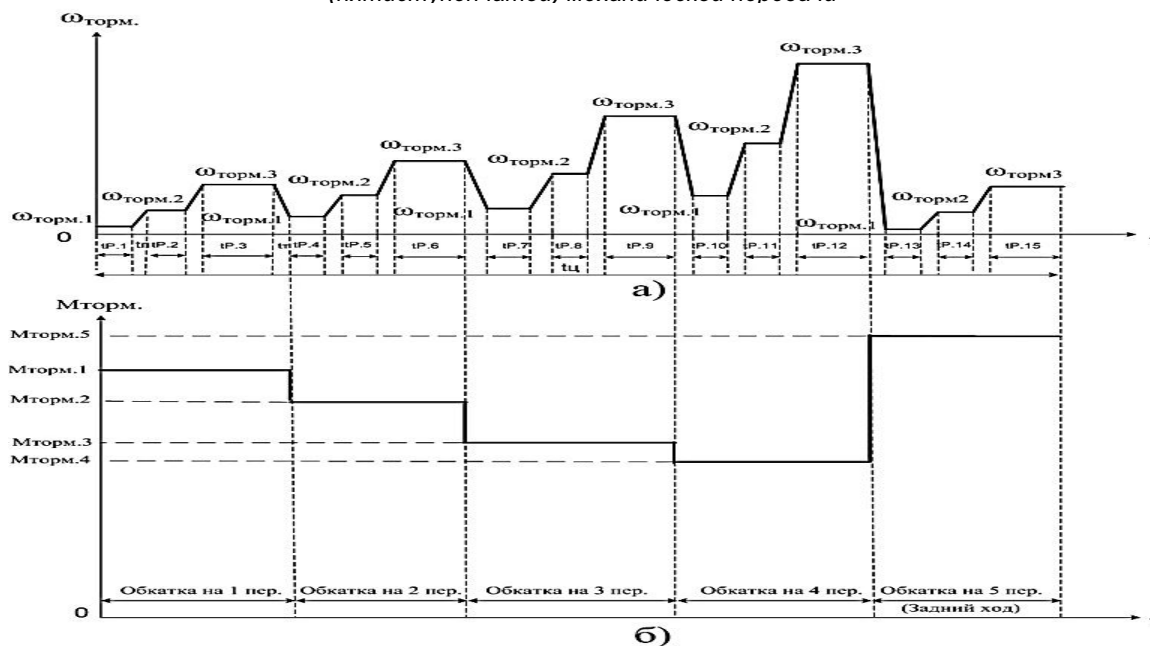


Рис. 2. Скоростная (а) и нагрузочная (б) диаграммы на ведомом валу (выходном валу) многоступенчатой (пятиступенчатой) механической передачи

это будет длительный режим работы с переменной нагрузкой. Поэтому предварительный выбор мощности двигателей при регулировании их угловой скорости с учетом изменения условий охлаждения можно найти через среднеквадратичный (эквивалентный) момент электродвигателя за время цикла $t_{\text{ц}}$, т.е. за все время обкатки под нагрузкой [4]:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_{\text{OX},i} \cdot t_i}}, \quad (3)$$

где M_i – электромагнитный момент двигателя на i -м участке нагрузочной диаграммы, Н·м;

$\beta_{\text{OX},i}$ – коэффициент охлаждения самовентилируемого двигателя на i -м участке нагрузочной диаграммы;

t_i – временной интервал i -го участка, мин;

n – число временных интервалов.

Предварительно выбранный электродвигатель, работая в расчетном режиме, не будет нагреваться, если:

$$M_{\text{э}} \leq M_{\text{НОМ}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{НОМ}}$ – номинальный момент выбранного двигателя, Н·м.

После проверки двигателя по нагреву выполняют проверку его на перегрузочную способность:

$$\frac{M_{\text{MAX}}}{M_{\text{НОМ}}} \leq \lambda_m, \quad (5)$$

где M_{MAX} – максимальное значение момента двигателя в цикле работы, Н·м;

λ_m – допустимая перегрузочная способность двигателя по моменту, о.е.

Учитывая, что обкатка и испытание механических передач производится в широком диапазоне скоростей и, как правило, охватывает и вторую зону регулирования, в которой электродвигатель работает с переменным магнитным потоком возбуждения, то эквивалентный момент электродвигателя уже не в полной мере отражает его нагрев, в нашем случае это будет лишь предварительным выбором мощности АД. Следовательно, нагрузочную диаграмму $M(t)$ нужно пересчитать в нагрузочную диаграмму тока электродвигателя $I(t)$, затем по ней рассчитать эквивалентный ток $I_{\text{э}}$ за время $t_{\text{ц}}$ [4] и уточнить номинальную мощность АД:

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_{\text{OX},i} \cdot t_i}}, \quad (6)$$

где I_i – ток двигателя на i -м участке нагрузочной диаграммы электропривода, А.

Если $I_{\text{э}} \leq I_{\text{НОМ}}$, то выбранный двигатель удовлетворяет условию нагрева.

После проверки двигателя по условию нагрева проводится проверка его перегрузочной способности по току:

$$\frac{I_{\text{max}}}{I_H} \leq \lambda_I, \quad (7)$$

где I_{max} – максимальное значение тока на диаграмме $I(t)$, А;

I_H – номинальный ток электродвигателя, А;

λ_I – допустимая перегрузочная способность двигателя по току, о.е.

Если хотя бы одно из вышеуказанных условий не выполняется, проводят увеличение номинальной мощности двигателя на одну ступень и расчет повторяют до тех пор, пока оба условия не выполняются.

Значение абсолютного скольжения АД s_a , при котором момент приводной равен тормозному для соответствующих двигателей, определим из выражения статической механической характеристики АД, приведенной в работе [4]:

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s_{\text{ак}}}{s_a} + \frac{s_a}{s_{\text{ак}}}}, \quad (8)$$

где M_K – критический момент двигателя, Н·м;

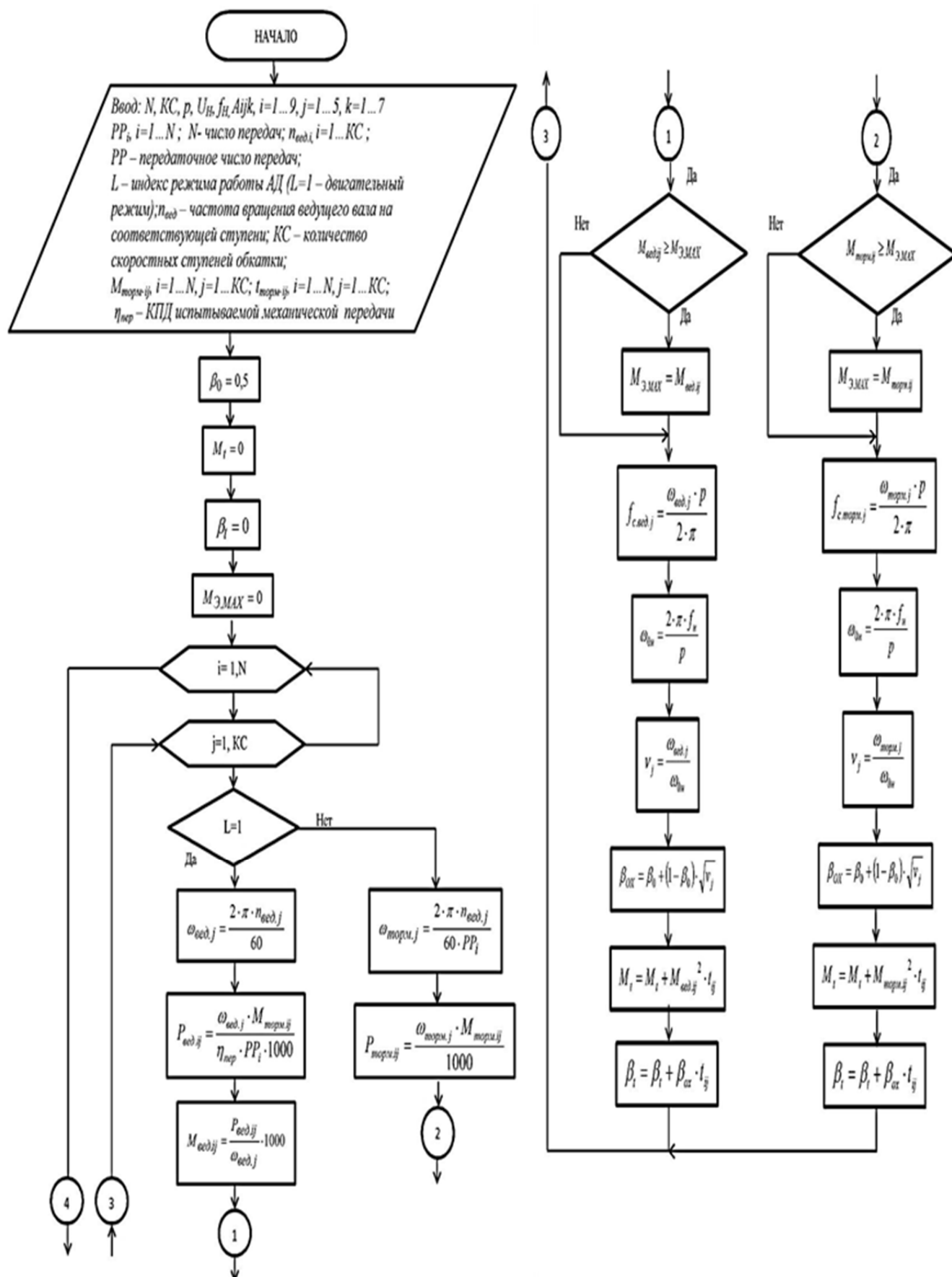
$s_{\text{ак}}$ – абсолютное критическое скольжение АД, о.е.

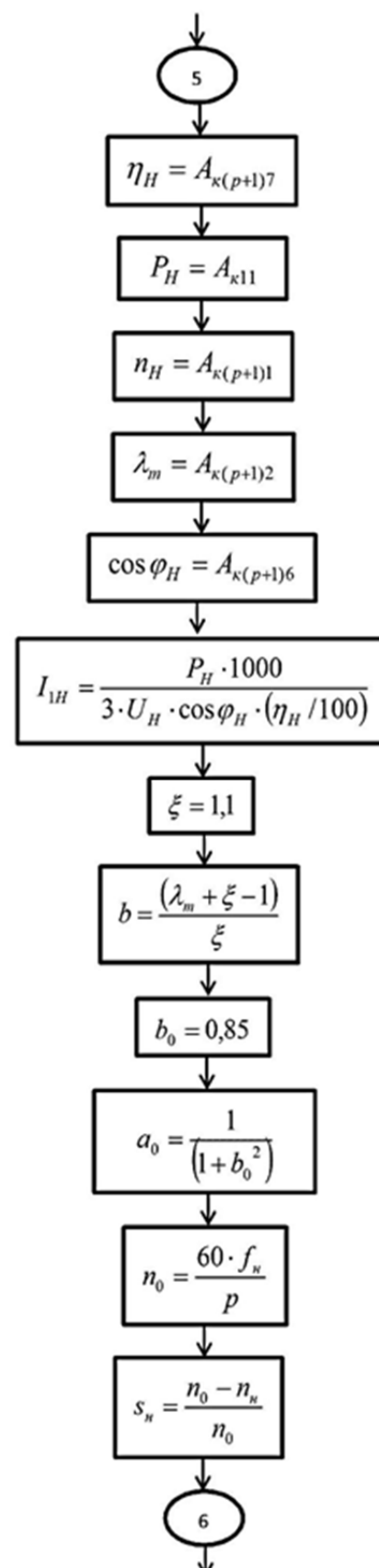
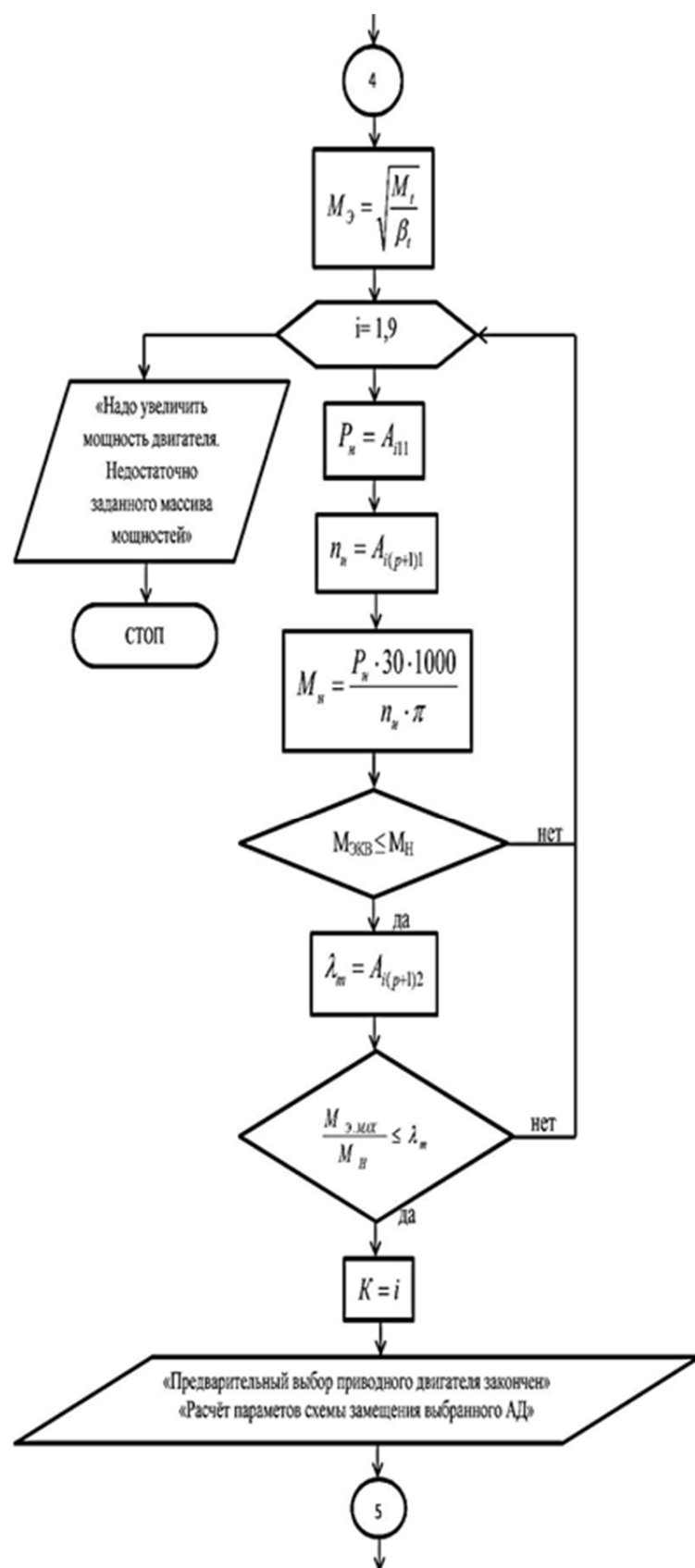
Откуда абсолютное скольжение АД:

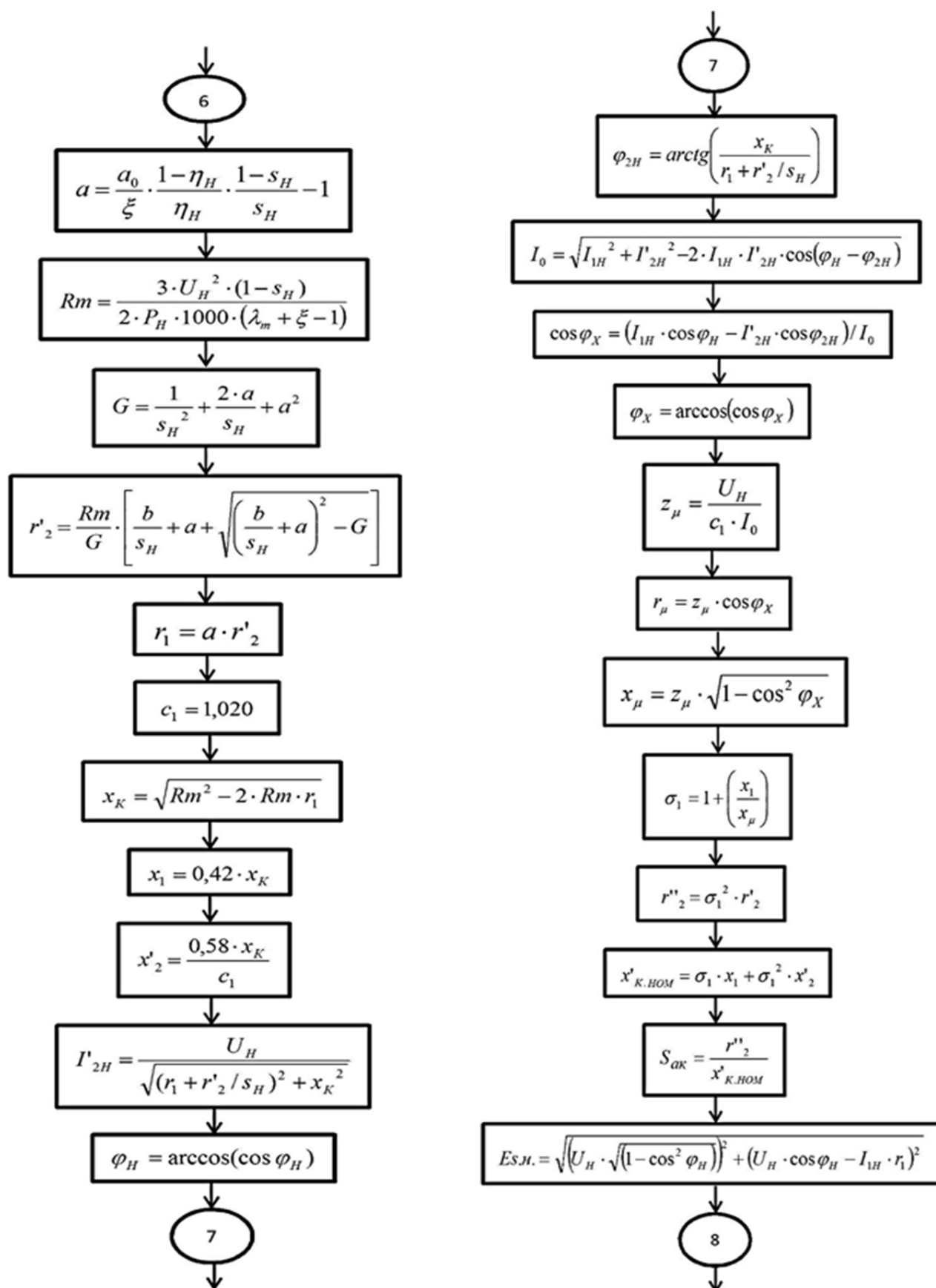
$$s_a = \frac{M_K}{M} \cdot s_{\text{ак}} - s_{\text{ак}} \cdot \sqrt{\left(\frac{M_K}{M}\right)^2 - 1}. \quad (9)$$

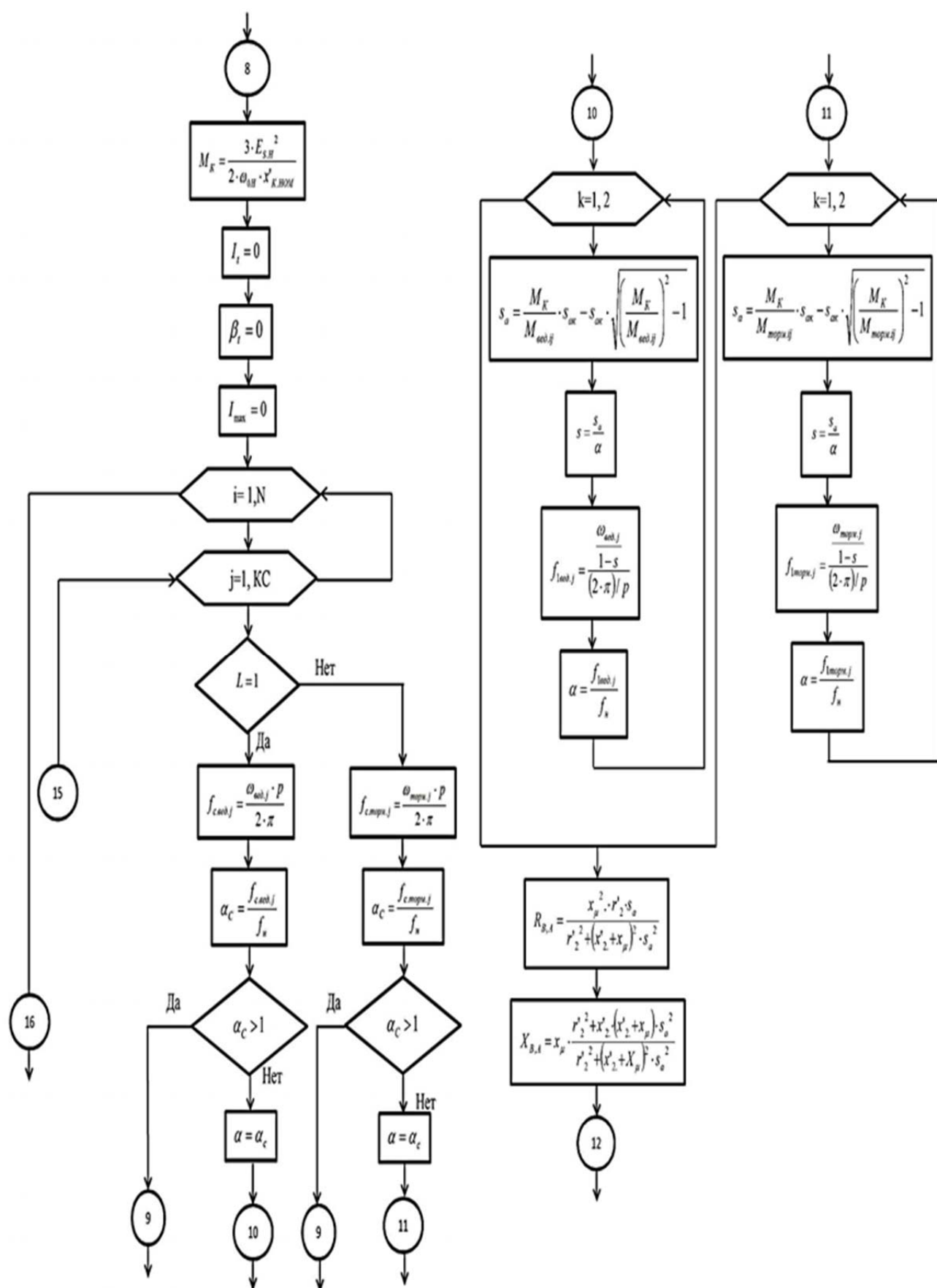
Далее, после определения абсолютного скольжения АД по общеизвестным формулам, приведенным ниже в блок-схеме алгоритма, производят уточнения скольжения, частоты напряжения питания двигателя, относительной синхронной частоты питающего напряжения.

Учитывая вышеизложенное и основываясь на результатах исследований, приведенных в работах [4-10], авторами разработана блок-схема алгоритма методики расчета мощности приводного и тормозного АД при частотном регулировании скорости в обкаточно-испытательных стендах механических передач, приведенная на рис. 3. В методике не учитываются потери переходных процессов при переключении режимов обкатки, так как они незначительны из-за кратковременности переходного процесса.











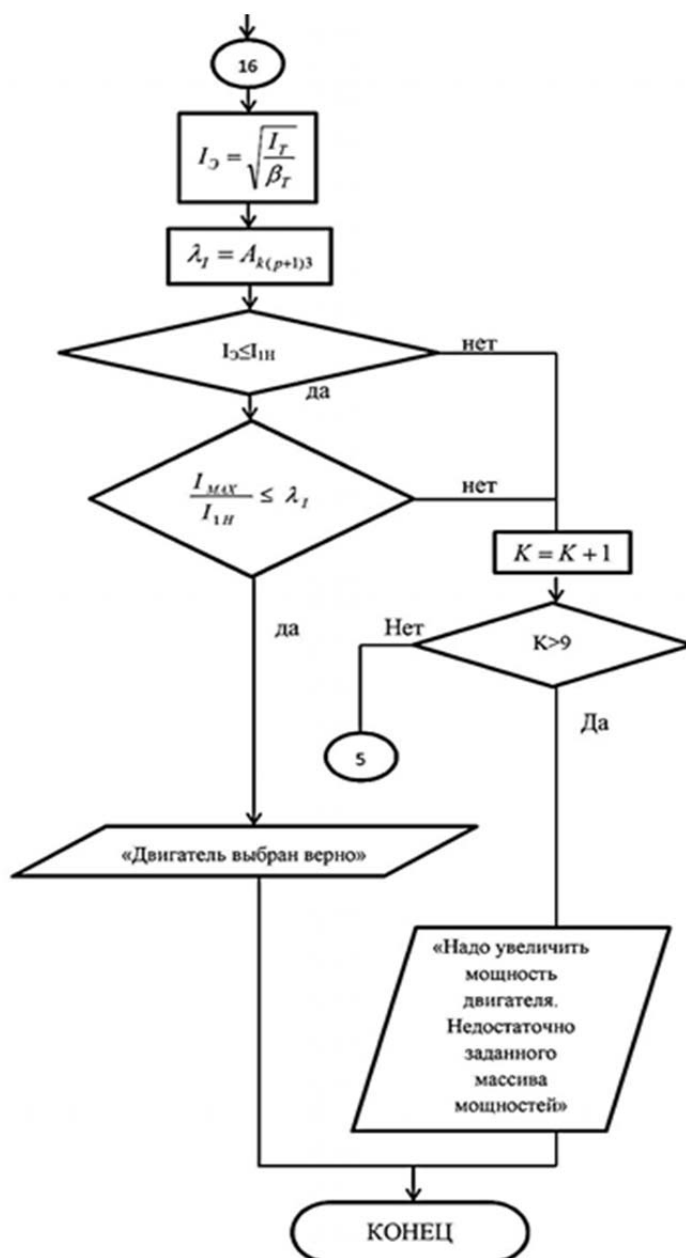


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета мощности приводного и тормозного асинхронных двигателей при частотном регулировании скорости в обкаточно-испытательных стендах механических передач

где N – число передач КПП;
 KC – количество скоростных ступеней обкатки;
 A_{ijk} – трехмерный массив паспортных данных АД (номинальные мощность, частота вращения, коэффициент полезного действия, кратность максимального момента, номинальный коэффициент мощности и др.);
 p – число пар полюсов АД;
 U_H – номинальное напряжение питания (фазное), В;
 f_H – номинальная частота переменного тока питающей сети, 50Гц;
 PP_i , $i = 1 \dots N$ – передаточные числа передач КПП;

$n_{вед.i}$, $i = 1 \dots KC$ – частота вращения ведущего вала на соответствующей скоростной ступени обкатки, об/мин;
 $M_{торм.ij}$, $i = 1 \dots N$, $j = 1 \dots KC$ – тормозной момент на ведомом валу, на соответствующей передаче и скоростной ступени обкатки, Н·м;
 $t_{торм.ij}$, $i = 1 \dots N$, $j = 1 \dots KC$ – продолжительность обкатки на соответствующей передаче и скоростной ступени обкатки, мин;
 β_0 – коэффициент, зависящий от способа охлаждения и степени защиты АД, для закрытого самовентилируемого двигателя $\beta_0 = 0,5$;

$\omega_{вед,i}$, $i = 1...KC$ – угловая скорость ведущего вала на соответствующей скоростной ступени обкатки, рад/с;

$P_{вед,ij}$, $i = 1...N$, $j = 1...KC$ – мощность на ведущем валу на соответствующей передаче и скоростной ступени обкатки, Вт;

$M_{вед,ij}$, $i = 1...N$, $j = 1...KC$ – приведенный тормозной момент, на ведущем валу, на соответствующей передаче и скоростной ступени обкатки, Н·м;

$f_{с.вед,j}$ – частота напряжения питания приводного двигателя на соответствующей скоростной ступени обкатки, Гц;

$f_{с.торм,j}$ – частота напряжения питания тормозного двигателя на соответствующей скоростной ступени обкатки, Гц;

ω_{0H} – синхронная угловая скорость магнитного поля статора АД при номинальной частоте переменного тока питающей сети, рад/с;

v_i – относительная угловая скорость, о.е;

β_{0X} – коэффициент изменения теплоотдачи самовентилируемого электродвигателя;

M_{Σ} – среднеквадратичный (эквивалентный) момент электродвигателя за время цикла t_{Σ} , Н·м;

P_H – номинальная мощность двигателя, кВт;

n_H – номинальная частота вращения двигателя, об/мин;

M_H – номинальный момент двигателя, Н·м;

M_{max} – максимальное значение момента двигателя в цикле работы, Н·м;

λ_m – кратность максимального момента к номинальному, о.е;

η_H – номинальный коэффициент полезного действия АД, %;

I_{1H} – номинальный фазный ток статора АД, А;

$\eta_{пер}$ – коэффициент полезного действия испытуемой механической передачи, о.е;

$\xi = (1,02-1,1)$ – отношение номинального электромагнитного момента к номинальному моменту АД, рекомендуем принять 1,1, о.е;

b – расчетный вспомогательный коэффициент, о.е;

$b_0 = (0,7-0,85)$ – коэффициент загрузки АД, для которого коэффициент полезного действия максимальный, рекомендуем при расчете принять равным 0,85, о.е;

a_0 – вспомогательный коэффициент, о.е;

n_0 – синхронная частота вращения магнитного поля статора АД, мин⁻¹;

s_H – номинальное скольжение АД, о.е;

α – отношение активных сопротивлений обмоток АД $\alpha = r_1/r'_2$, может принимать значение от десятых долей единицы до нескольких единиц, о.е;

R_m – промежуточная переменная, Ом;

G – промежуточная переменная, о.е;

r'_2 – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;

r_1 – активное сопротивление обмотки статора, Ом;

c_1 – коэффициент приведения параметров Т-образной схемы замещения АД к Г-образной;

x_K – индуктивное сопротивление обмоток для режима короткого замыкания (при неподвижном роторе), Ом;

x_1 – индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора, Ом;

x'_2 – индуктивное сопротивление рассеяния фазы ротора, Ом;

I_{2H} – номинальный ток в обмотке ротора, приведенный к обмотке статора, А;

φ_H – угол между векторами тока $\vec{I}_{1H}$ и напряжения питания $\vec{U}_H$, рад;

φ_{2H} – угол между векторами тока $\vec{I}_{2H}$ и напряжения питания $\vec{U}_H$, рад;

I_0 – ток холостого хода, А;

$\cos\varphi_X$ – коэффициент мощности холостого хода;

φ_X – угол между векторами тока холостого хода $\vec{I}_0$ и напряжения питания $\vec{U}_H$, рад;

z_{μ} – полное сопротивление цепи намагничивания, Ом;

r_{μ} – активное сопротивление ветви намагничивания, Ом;

x_{μ} – индуктивное сопротивление ветви намагничивания, Ом;

σ_1 – уточненный коэффициент приведения параметров Т-образной схемы замещения АД к Г-образной;

r''_2 – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, для Г-образной схемы замещения АД, Ом;

$x'_{K,ном}$ – индуктивное номинальное сопротивление обмоток статора и ротора АД при номинальной частоте питающего напряжения для режима короткого замыкания (при неподвижном роторе), Ом;

$s_{ак}$ – абсолютное критическое скольжение;

$E_{S,H}$ – действующее значение номинальной ЭДС статора, В;

M_K – критический момент двигателя, Н·м;

a_c – относительная синхронная частота питающего напряжения, о.е;

s_a – вычисленное абсолютное скольжение АД, соответствующее тормозному моменту, заданному в технологических требованиях на обкатку КПП, о.е;

s – уточненное скольжение АД, о.е;

$f_{1,вед,j}$ – уточненное значение частоты напряжения питания приводного двигателя на соответствующей скоростной ступени обкатки, Гц;

$f_{1,торм,j}$ – уточненное значение частоты напряжения питания тормозного двигателя на соответствующей скоростной ступени обкатки, Гц;

α – уточненная относительная синхронная частота питающего напряжения, о.е;

$R_{B,A}$ – «внутреннее» активное сопротивление АД при номинальной частоте и абсолютном скольжении s_a , Ом;

$X_{B,A}$ – «внутреннее» индуктивное сопротивление АД при номинальной частоте и абсолютном скольжении s_a , Ом;

I_1 – расчетный ток статора АД искусственной электромеханической характеристики, А;

$R_{АД}$ – активное сопротивление эквивалентной схемы АД, Ом;

$X_{АД}$ – индуктивное сопротивление эквивалентной схемы АД, Ом;

$Z'_{АД}$ – полное сопротивление цепи АД при абсолютном скольжении s_a и относительной частоте α , Ом;

I_{Σ} – эквивалентный ток электродвигателя за время цикла, А;

I_{max} – максимальный ток нагрузочной диаграммы электродвигателя, А.

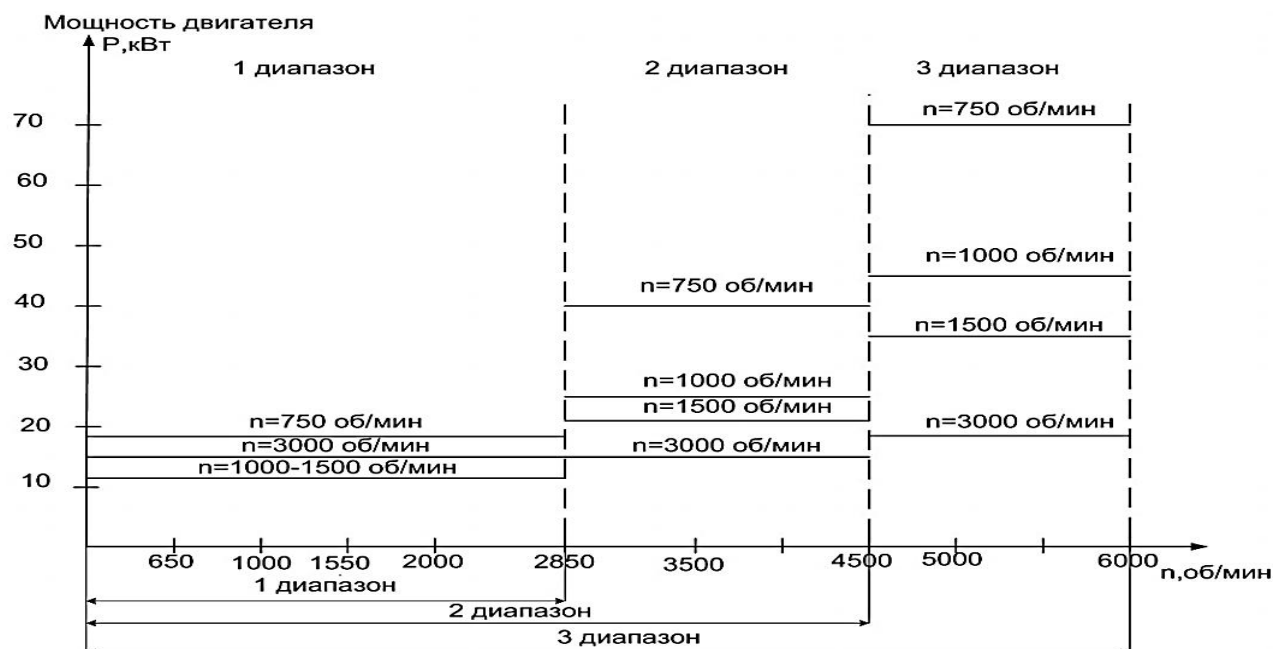


Рис. 4. Диаграмма изменения мощностей приводного двигателя в зависимости от диапазона скоростей обкатки и выбранной номинальной частоты вращения АД

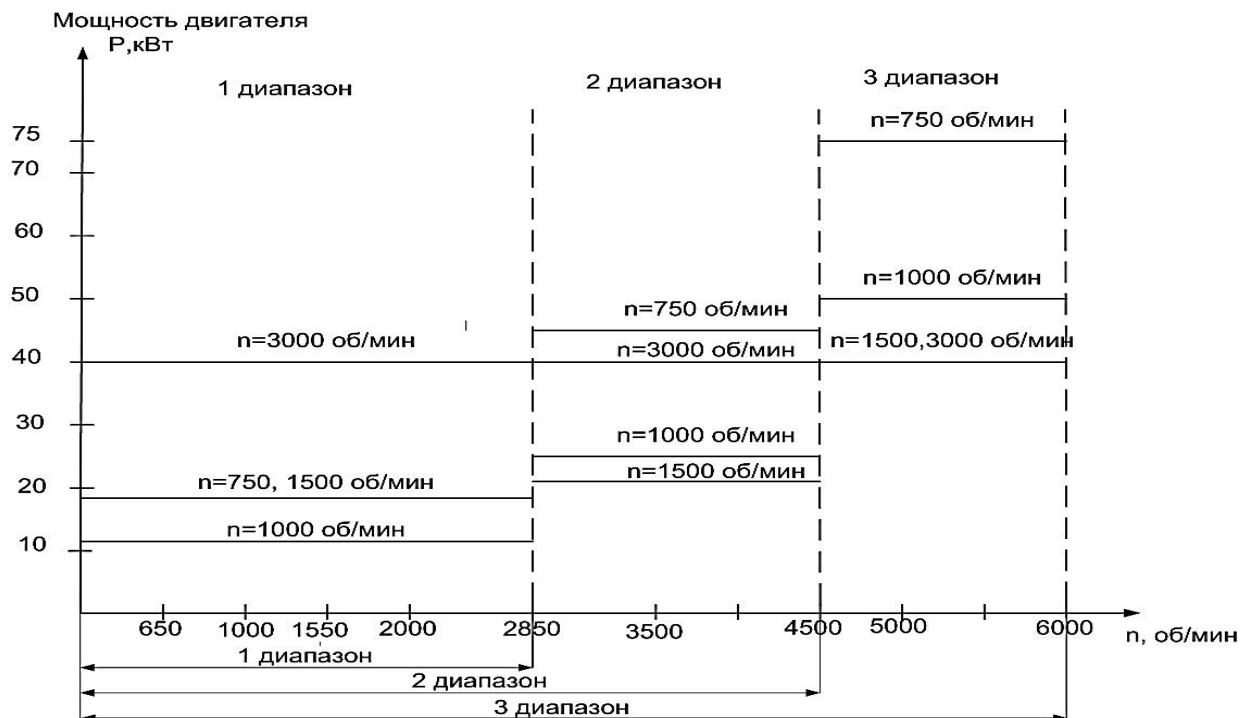


Рис. 5. Диаграмма изменения мощностей тормозного двигателя в зависимости от диапазона скоростей обкатки и выбранной номинальной частоты вращения АД

Проведенный вычислительный эксперимент с использованием разработанной методики при обкатке КПП ГАЗ-24 в соответствии с технологическими требованиями, сформированными в [11], показывает, что мощности приводного и тормозного двигателей будут зависеть от заданных диапазонов скоростей обкатки на ведущем валу, тормозных моментов на ведомом валу и выбранной номинальной частоты вращения АД, о чем свидетельствуют диаграммы, приведенные на рис. 4-5. Из анализа диаграмм мощностей следует, что с ростом верхнего значения диапазона скоростей обкатки должна увеличиваться и номинальная частота вращения двигателя, в противном случае необходимо завышать номинальную мощность АД. Проведенные расчеты показывают, что при обкатке автомобильных КПП, как правило, тормозные двигатели должны иметь меньшую номинальную частоту вращения и большую номинальную мощность в сравнении с приводными двигателями.

Заключение

Проведенные вычисления по разработанной методике расчета мощности приводного и тормозного АД при частотном регулировании скорости в обкаточно-испытательных стендах механических передач, обеспечивающих заданные технологические требования, подтверждают возможность практической реализации предложенного технического решения. При этом необходимо отметить, что мощности приводного и тормозного АД будут определяться технологическими требованиями на обкатку и зависеть от диапазона скоростей обкатки на ведущем валу, тормозных моментов на ведомом валу и выбранной номинальной частоты вращения двигателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прищепов, М.А. Обоснование применения частотно-регулируемого асинхронного электропривода для стендов обкатки и испытания механических передач / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 23-24 октября 2014 г.: в 2-х ч. / редкол.: И.Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2014. – Ч. 2. – С. 159-162.
2. Прищепов, М.А. Энергетическая и технологическая эффективность систем электропривода обкаточно-испытательных стендов механических передач / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: сб. научных статей Междунар. научно-технической

конф., Минск, 26-27 ноября 2015 г. / под ред. М.А. Прищепова. – Минск: БГАТУ, 2015. – 412 с.

3. Прищепов, М.А. Анализ существующих и обоснование перспективной системы электропривода обкаточно-испытательных стендов механических передач / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, В.В. Смоленчук // Агропанорама. – 2016. – № 2. – С. 26-33.

4. Фираго, Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – М.: Техноперспектива, 2007. – 588 с.

5. Прищепов, М.А. Расчет параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным и построение их естественных механических и электромеханических характеристик / М.А. Прищепов, Е.М. Прищепова, Д.М. Иванов // Агропанорама. – 2016. – № 5. – С. 20-32.

6. Гридин, В.М. Расчет параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным / В.М. Гридин // Электричество. – 2012. – № 5. – С. 40-44.

7. Прищепов, М.А. Статические характеристики асинхронных двигателей при частотном регулировании скорости / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: сб. научных статей Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 23-24 ноября 2017 г. / под ред. М.А. Прищепова. – Минск: БГАТУ, 2017. – 400 с.

8. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном регулировании скорости и стабилизации потока возбуждения статора / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2016. – № 6. – С. 20-30.

9. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном управлении скоростью и стабилизации потока возбуждения / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2017. – № 2. – С. 26-36.

10. Прищепов, М.А. Расчет статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частоте напряжения питания обмоток статора выше номинальной / М.А. Прищепов, Д.М. Иванов, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2017. – № 3. – С. 26-34.

11. Сархошьян, Г.Н. Ремонт автомобиля ГАЗ-24 «Волга» / Г.Н. Сархошьян, В.Н. Малянов. – М.: Транспорт, 1980. – 220 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.12.2017

УДК 621.43.001.4

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ ОБЪЕМНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

Д.А. Жданко,

зав. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.Я. Тимошенко,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Новиков,

профессор каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Д.И. Сушко,

аспирант каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ

Д.С. Вербицкий,

студент факультета технического сервиса в АПК БГАТУ

В статье рассмотрены вопросы оценки технического состояния агрегатов гидропривода мобильных технических средств по объемному коэффициенту полезного действия.

Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, гидропривод, аксиально-плунжерный гидро-насос, утечки жидкости, зазор, давление, коэффициент полезного действия.

In the article the questions of an estimation of a technical condition of aggregates of a hydrodrive of mobile technical means on volumetric factor of efficiency are considered.

Keywords: mobile power tool, hydraulic drive, axial-plunger hydraulic pump, fluid leakage, gap, pressure, efficiency.

Введение

В настоящее время объемный гидравлический привод является основным типом привода сельскохозяйственных, строительных, дорожных и других машин. В связи с этим усилилась актуальность вопросов, связанных с проблемой повышения надежности гидроприводов машин, в частности повышения уровня технической готовности. Традиционные методы обеспечения надежности, основанные на системе планово-предупредительных ремонтов, не обеспечивают в полной мере необходимый результат для гидроприводов и ведут к большому материальным и финансовым издержкам.

Внешние проявления отказов устанавливают органолептическими методами без использования диагностических средств. В результате этого основные агрегаты гидропривода зачастую снимаются с машин и направляются в ремонт с недоиспользованным ресурсом на 20 – 30 % [1]. Несвоевременная замена агрегатов при досрочном исчерпании ресурса при усложнении условий эксплуатации, отличных от регламентированных, приводит к эксцессам (аварийным ситуациям) в работе гидросистем. Средством повышения функциональной надежности, эффективности технического обслуживания, предупреждения отказов при эксплуатации объемного гидропривода

является техническая диагностика, обеспечивающая прогнозирование остаточного ресурса агрегатов на задаваемых интервалах наработки.

Основу логической процедуры технического диагностирования составляет совокупность физических величин (диагностических параметров), с помощью которых определяются изменения параметров объектов диагностирования (зазоры, упругость, износ), т.е. то, что сказывается на передаточную функцию объекта диагностирования.

Поддержание гидроприводов машин в исправном состоянии и уменьшение затрат на техническое обслуживание возможно за счет применения технической диагностики, которая позволяет более точно устанавливать сроки и объем работ по обслуживанию и ремонту, исключить ненужные разборочно-сборочные работы, определить действительную потребность в регулировках, выявить и проконтролировать основные эксплуатационные показатели гидропривода во время работы, определить целесообразность проведения ремонтных работ, маневрировать сроками технического обслуживания в зависимости от напряженности работ, прогнозировать остаточный ресурс и наработку узлов и отдельных агрегатов.

В большинстве предприятий и райагросервисах республики вообще отсутствуют диагностические

устройства, позволяющие оценить техническое состояние агрегатов объемного гидравлического привода и потребность их в специализированном ремонте.

В результате этого большинство предприятий республики вынуждены отправлять в ремонт аксиально-плунжерные гидронасосы и гидромоторы без предремонтного диагностирования.

Целью настоящей работы является разработка метода оценки технического состояния агрегатов гидравлического привода мобильных энергетических средств для повышения функциональной надежности и эффективности технического обслуживания, предупреждения отказов при эксплуатации гидропривода и обеспечения прогнозирования остаточного ресурса агрегатов на задаваемых интервалах наработки.

Основная часть

Развитие механизации сельского хозяйства требует совершенствования теории и практики эксплуатации гидроприводов машин, в частности в области диагностики, поиска отказов и прогнозирования остаточного ресурса.

Диагностирование представляет собой комплекс операций, проводимых в составе мероприятий системы планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта машин (системы ППР), выполняемых в плановом порядке, а также при необходимости, с целью поиска места и причин отказа.

Диагностирование гидропривода машин обеспечивает [2]:

- определение фактического технического состояния гидропривода в целом, его сборочных единиц и систем;
- определение места и причины возникновения неисправности при отказе объекта;
- сбор исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса или оценки вероятности безотказной работы гидросистемы в межконтрольный период;
- повышение эффективности технической эксплуатации машин;
- повышение эффективности эксплуатации машин с гидроприводом рабочих органов при применении диагностирования достигается за счет сокращения затрат времени на определение технического состояния путем исключения работ по разборке (демонтажу);
- сокращения простоев машин из-за отказа гидравлического привода рабочих органов;
- снижения затрат на устранение отказов машин вследствие своевременного обнаружения скрытых дефектов;
- повышения эффективности использования машин по назначению в результате своевременной коррекции (восста-

новления) функциональных характеристик машин при выходе их за пределы допуска.

Система диагностирования гидропривода машин может являться составной частью общей системы ремонтно-профилактических воздействий на машину.

Типовая схема взаимодействия ремонтно-профилактических воздействий на машину при применении диагностирования гидропривода представлена на рис. 1.

Оценить техническое состояние основных агрегатов гидропривода мобильных энергосредств возможно по полному КПД.

Полный КПД принято представлять как произведение механического, гидравлического и объемного КПД. Однако, как показывают исследования, [3] снижение механического и гидравлического КПД за время эксплуатации незначительно и существенно не влияет на полный КПД.

Поэтому объемный КПД принят повсеместно в качестве основного диагностического параметра [4].

В Белорусском государственном аграрном техническом университете разработан метод и устройство для оценки технического состояния агрегатов гидропривода. На рис. 2 представлена предлагаемая гидравлическая схема устройства для диагностирования агрегатов гидравлического привода.



Рис. 1. Схема взаимодействия ремонтно-профилактических воздействий на машину при применении диагностирования

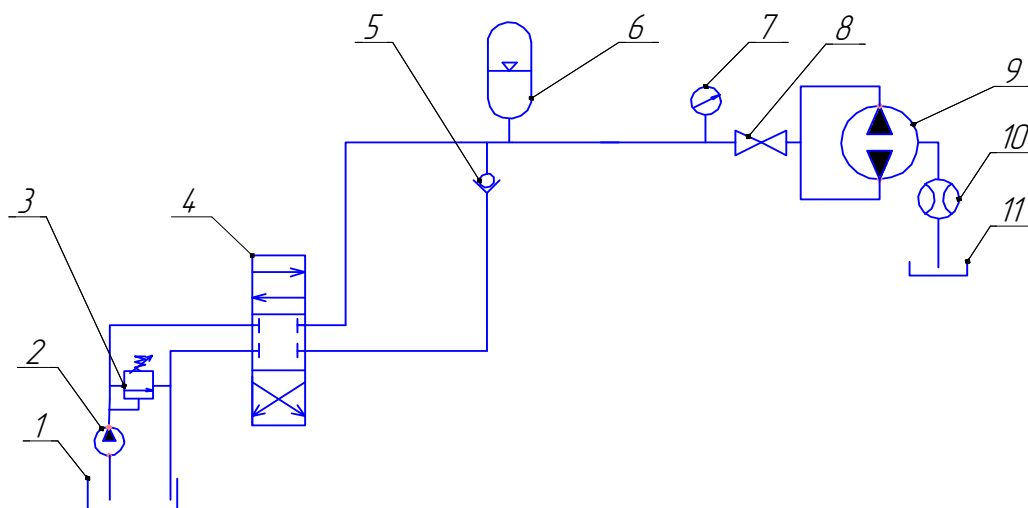


Рис. 2. Гидравлическая схема устройства для диагностирования агрегатов гидравлического привода:
1 – гидробак; 2 – гидронасос с электроприводом; 3 – предохранительный клапан; 4 – гидрораспределитель управления; 5 – обратный клапан; 6 – гидравлический аккумулятор; 7 – манометр; 8 – кран; 9 – проверяемый гидронасос (гидромотор); 10 – расходомер жидкости; 11 – сливная емкость

Суть метода состоит в том, что в проверяемом гидроагрегате с помощью насоса с электроприводом создается давление номинального значения, и рабочая жидкость при этом давлении запирается в системе в гидроаккумуляторе путем прекращения подачи жидкости в проверяемый агрегат посредством гидрораспределителя. Предпочтительнее применение диафрагменного гидроаккумулятора, т.к. в сравнении с поршневым пружинным гидроаккумулятором он позволяет с высокой точностью определять КПД проверяемого гидронасоса из-за отсутствия утечек в нем рабочей жидкости.

Оценка технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса гидронасоса (гидромотора) производится по объемному КПД, который определяется по скорости падения давления за единицу времени рабочей жидкости, запертой в гидросистеме или по утечкам рабочей жидкости, определяемым посредством расходомера жидкости, соединенного с проверяемым гидронасосом через дренажное отверстие.

Значение объемного КПД определяется по зависимости:

$$\eta_o = \frac{Q_m - q_{ym}}{Q_m} = 1 - \frac{q_{ym}}{V_o n}, \quad (1)$$

где Q_m – теоретическая производительность насоса, м³/с;

q_{ym} – утечки жидкости в насосе (моторе), м³/с;

V_o – рабочий объем насоса (мотора), м³;

n – частота вращения вала насоса (мотора), с⁻¹.

Исходя из зависимости (1), объемный КПД зависит от утечек жидкости в гидронасосе (гидромоторе).

Как видно из вышеперечисленного, для диагностирования агрегатов гидростатической трансмиссии можно применять такой показатель, как падение давления в контуре, применяя схему диагностирования (рис. 2).

При этом зависимость 1 следует уточнить для статического метода определения объемного КПД, введя два коэффициента:

$$q_{ym} = k \cdot a \cdot \frac{\Delta p}{12\mu}, \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности, показывающий зависимость эквивалентного зазора от перепада давления в контуре гидроагрегата, м³;

a – статический коэффициент, показывающий степень влияния частоты вращения вала гидроагрегата на внутренние перетечки;

μ – коэффициент динамической вязкости рабочей жидкости, Па·с;

Δp – перепад давления, Па.

Причем коэффициенты a и k для данной диагностической схемы необходимо определить экспериментальным путем с помощью описанной выше диагностической установки.

В результате преобразований зависимостей 1 и 2, принимая допущение, что вал насоса вращается с постоянной частотой 1с⁻¹, получим формулу:

$$\eta_o = 1 - \frac{t_i \cdot k \cdot a \cdot \Delta p}{12\mu V_o}, \quad (3)$$

где t_i – длительность i -го диагностирования, с.

Зависимость (3) позволит оценить техническое состояние агрегатов гидропривода мобильных технических средств по падению давления запертой рабочей жидкости в контуре гидроагрегатов. Для выполнения расчетов необходимо создать установку (рис. 2) и накопить статистические данные по коэффициентам k и a .

Заключение

1. Объемные энергетические потери, как показывает практический опыт и результаты многочисленных исследований, являются основным критерием

отказа насосов, моторов. Поэтому объемный КПД принят повсеместно в качестве основного диагностического параметра.

2. Расход утечек в контурах гидропривода и гидроприводе в целом прямо пропорционален перепаду давления рабочей жидкости, поэтому для диагностирования агрегатов гидропривода, возможно, применять такой показатель, как падение давления в контуре, применяя схему диагностирования (рис. 2).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимошенко, В.Я. Диагностирование гидростатических трансмиссий / В.Я. Тимошенко, А.В. Новиков, Д.А. Жданко, Е.С. Некрашевич // Агропанорама. – 2009. – № 1. – С. 44-48.

2. Тимошенко, В.Я. Предремонтное диагностирование агрегатов гидростатической трансмиссии / В.Я. Тимошенко, Д.А. Жданко, А.В. Новиков, Д.И. Сушко, И.В. Загородских // Изобретатель. – 2014. – №3. – С. 42-44.

3. Сенин, А.П. Технология ремонта регулируемых аксиально-поршневых гидромашин восстановлением ресурсолимитирующих соединений: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.П. Сенин. – Саранск: ФГБОУ ВПО МГУ им. Н.П. Огарева, 2012. – 242 с.

4. Алексеенко, А.П. Совершенствование технологии диагностирования гидропривода одноковшовых строительных экскаваторов по объемному коэффициенту полезного действия: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / А.П. Алексеенко. – Санкт-Петербург, 2001. – 180 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.10.2017

УДК 338.431.4

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ СЕЛЬСКИХ МАЛЫХ СУБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

С.В. Бондарь,

доцент каф. менеджмента и маркетинга БГАТУ, канд. экон. наук

В статье предложена методика оценки результатов трансформации сельских малых форм хозяйствования на основе расчета интегрального показателя. Представлено обоснование практического применения данной оценки как следствие реформирования аграрного сектора экономики.

Ключевые слова: трансформация, эффективность, малые формы хозяйствования, потенциал, преобразование, интегральный показатель.

The article proposes a methodology for assessing the results of the transformation of rural small forms of management based on the calculation of the integral indicator. Provides a rationale for the practical application of this assessment as a consequence of reforming the agrarian sector of the economy.

Keywords: transformation, efficiency, small forms of management, potential, reform, integral indicator.

Введение

Характерной чертой экономики сельских регионов большинства стран постсоветского пространства является доминирование малых субъектов хозяйствования, которые отличаются большой гибкостью, способны быстро адаптироваться к динамическому процессу рыночной трансформации и решать комплекс социально-экономических проблем села, что создает предпосылки для устойчивого развития сельских территорий. Малые формы хозяйствования можно рассматривать в нескольких аспектах: как результат изменений, произошедших в аграрном секторе, и как форму проявления деловой активности сельского населения, с помощью которой происходит формирование предпринимательского потенциала и его развитие.

Малые формы хозяйствования в сельской местности – это сектор мелкотоварных субъектов хозяйствования, деятельность которых направлена на обеспечение собственных нужд и (или) получения дохода, основанная на использовании инициативы, собственных материальных ресурсов и трудового

потенциала, или посредством объединения усилий нескольких участников производственного процесса. Наиболее распространенными формами хозяйствования на селе стали личные подсобные хозяйства населения, фермерские хозяйства и частные предприниматели, которые под воздействием многих факторов продолжают эволюционировать.

Развитие малых форм хозяйствования глубоко исследовано В.К. Збарским [1], П.Т. Саблуком [2], В.В. Юрчишиным [3], Т.И. Яворской [4], Ю.П. Макаренко [5] и многими другими учеными, но вопрос оценки хода трансформации малых хозяйственных формирований на селе до сих пор оставался за рамками исследований.

Трансформация сельских малых форм хозяйствования является непрерывным процессом, происходит под влиянием изменения условий среды хозяйствования и собственного потенциала хозяйствующих субъектов. Приспосабливаясь к изменениям окружающей среды, некоторые субъекты хозяйствования объединяются, кооперируются, диверсифицируют деятельность, а другие, наоборот, отделяются,

дробятся, специализируются, что обуславливает многоукладность сельской экономики.

Целью данной работы является разработка и обоснование методики оценки результатов трансформации сельских малых субъектов хозяйствования для определения эффективности преобразований, произошедших в сельской местности.

Основная часть

Трансформация сельских субъектов хозяйствования как результат развития сельской экономики, направленной на ее изменение в соответствии с обоснованным комплексом целей, будет характеризоваться степенью достижения этих целей, т.е. путем сравнения полученного результата с базисными показателями, имевшими место на начало периода. В данном случае положительные тенденции будут означать эффективность соответствующих преобразований на селе, а негативные, напротив – их нецелесообразность, бесполезность и даже губительное воздействие для села и крестьянства в целом.

Цель методики – оценка хода трансформации сельских малых субъектов хозяйствования на основе критериев, позволяющих определить результаты проводимых преобразований в аграрном секторе и степень достижения поставленной цели на конкретную дату (за определенный период). Это позволит установить, насколько верным был выбран курс преобразований сельской экономики, и как его последствия отразились на развитии сельских территорий и крестьянства [6].

Предлагаемая методика предполагает проведение следующих этапов:

1. Оценка социальных условий жизни сельского населения.

2. Определение доли малых форм хозяйствования в производстве сельскохозяйственной продукции.

3. Оценка потенциала малых форм хозяйствования и его развития.

4. Определение эффективности деятельности малых форм хозяйствования.

5. Расчет интегрального показателя результатов трансформации.

Разработка методики оценки результатов трансформации сельских малых субъектов хозяйствования обусловлена возрастающей ролью частного сектора в развитии сельских территорий. В ее основе лежит использование индексов, которые наиболее полно отражают сущность процесса трансформации, позволяя

провести сравнительный анализ развития явления во времени. Поскольку индексы – относительные величины, преимуществом их использования для оценки результатов трансформации сельских субъектов хозяйствования является возможность приведения в сопоставимый вид показателей, имеющих различные единицы измерения.

Методологические основы оценки результатов трансформации аграрного сектора базируются на расчетах изменений выбранных показателей за определенный промежуток времени. Для расчета интегрального показателя будем использовать частные, обобщающие и комплексные индексы.

Определение частных индексов по каждому показателю I_{ij} :

$$I_{ij} = \frac{Q_{ij}^1}{Q_{ij}^0}, \quad (1)$$

где Q_{ij}^1 – значение показателя в отчетном периоде;

Q_{ij}^0 – значение показателя на базисную дату.

Определение обобщающего индекса изменения показателей в разрезе каждой группы:

$$I_{об} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{ij}}{n}, \quad (2)$$

где n – количество групп показателей.

Нахождение комплексного индекса (I_k) по блоку показателей, характеризующих изменения социальных условий жизни сельского населения, производится следующим образом:

$$I_k = \sqrt[m]{I_{об1} * I_{об2} * \dots * I_{обm}}, \quad (3)$$

где $I_{об1}, I_{об2}, \dots, I_{обm}$ – обобщающие индексы по группам показателей оценки трансформации сельских малых форм хозяйствования;

m – количество подгрупп показателей.

Этап 1. Оценку результатов трансформации сельских малых форм хозяйствования начинаем с рассмотрения блока показателей, характеризующих изменения социальных условий жизни сельского населения как среды формирования и развития трудового потенциала (табл. 1).

Таблица 1. Показатели для оценки социальных условий жизни сельского населения

Демографическая ситуация	Соотношение рождаемости и смертности на 1000 сельских жителей
	Средняя продолжительность жизни сельского населения, лет
	Соотношение сельского и городского населения в регионе
Состояние рынка труда	Численность экономически активного сельского населения, тыс. чел.
	Численность занятого сельского населения, тыс. чел.
	Численность экономически неактивного сельского населения, тыс. чел.
Уровень жизни сельского населения	Отношение средней заработной платы в сельском хозяйстве к величине прожиточного минимума
	Соотношение средней заработной платы в селе и городе
	Отношение средней заработной платы крестьян к величине потребительской корзины

Показатели демографической ситуации характеризуют состояние и динамику воспроизводства трудового потенциала, позволяют оценить сельское население как фактор социально-экономического развития региона. Показатели состояния рынка труда в сельской местности и уровня жизни сельского населения дают возможность проанализировать направленность изменений в экономической и социальной сфере, а также их последствия для сельских жителей, что, в свою очередь, является предпосылками к смене сферы занятости или формы проявления экономической активности.

Поскольку конечной целью проводимого реформирования было повышение эффективности функционирования аграрного комплекса, а как следствие, увеличение занятости и благосостояния сельского населения, то процесс эффективной трансформации субъектов хозяйствования предполагает не только предотвращение снижения достигнутого уровня указанных показателей, но и стимулирование их роста. В связи с этим, в ходе исследований установлено, что улучшение социальных условий жизни сельских жителей как результат проведенных преобразований, является положительной тенденцией и свидетельствует об эффективности проводимых преобразований на селе. И наоборот, если их значения в отчетном году ниже базовых показателей, то преобразования не принесли ожидаемых результатов.

Этап 2. Развитие малых форм хозяйствования является результатом жизнедеятельности сельского населения как совокупности видов его деловой активности, которая отражается на занятости, и находится в прямой зависимости от социальных условий жизни.

Непосредственно об итогах трансформации малых субъектов хозяйствования, основываясь на данных официальной статистики, свидетельствует блок показателей их вклада в производство сельскохозяйственной продукции (табл. 2).

Таблица 2. Доля малых форм хозяйствования в производстве сельскохозяйственной продукции в регионе

Численность сельского населения, занятого в сельскохозяйственном производстве, тыс. чел.
Площадь сельскохозяйственных угодий, тыс. га
Площадь пашни, тыс. га
Стоимость валовой продукции сельского хозяйства, тыс. руб.

К данному блоку показателей, кроме стоимости валовой продукции, произведенной малыми хозяйственными формированиями, правомерно отнести размер их земельных угодий, как наиболее значимого фактора производства, и численность занятого населения в сельскохозяйственном производстве, что позволит определить значимость малых субъектов хозяйствования в социально-экономическом развитии сельской местности региона.

Этап 3. На данном этапе, на основании предлагаемых автором показателей, рекомендуется осуществлять последовательную оценку блока показателей ресурсного потенциала малых субъектов хозяйствования, их способностей и возможностей, посредством которых происходит дальнейшее развитие (блок показателей развития потенциала), а также блока показателей достижения поставленных целей функционирования (табл. 3).

Таблица 3. Определение реализованного потенциала сельских малых форм хозяйствования

Наименование показателей
Потенциал
Трудовой потенциал
Интеллектуальный капитал
Материально-ресурсный капитал
Развитие потенциала
Мотивированность персонала
Организационная культура
Инновационность технологий
Достижение целей развития
Соответствие продукции стандартам
Доля продукции, которая пользуется платежеспособным спросом
Эффективность менеджмента

В качестве показателей потенциала малых субъектов хозяйствования автором публикации предлагается оценивать не только его материально-ресурсную составляющую, как это принято в отечественной практике, но и значительное внимание уделить оценке интеллектуального капитала и трудового потенциала, которые являются импульсом развития малого предпринимательства.

В таком контексте под интеллектуальным капиталом понимается совокупность знаний, навыков и производственного опыта участников и руководителей сельских малых форм хозяйствования, а также их квалификации для осуществления хозяйственной деятельности. Оценка интеллектуального капитала предлагается проводить исходя из уровня их образования (среднее, среднее специальное, высшее) с использованием коэффициента редукции (по методике С.Г. Струмилина).

Трудовой потенциал предлагается оценивать путем сопоставления средней заработной платы в сельском хозяйстве в общественном секторе с доходом (для хозяйств населения) или заработной платой (для фермерских хозяйств).

Блок развития потенциала сельских малых форм хозяйствования предполагает оценку мотивированности персонала, организационной культуры и инновационности технологий. Данный блок показателей характеризует резервы экономического роста малых хозяйственных формирований и потенциальные возможности их эффективной трансформации. Здесь мотивированность персонала (участников хозяйств населения, фермерских хозяйств) подразумевает их самооценку по трем критериям: возможности (личностные характеристики), усло-

вия труда и желание или ответственность за принятие управленческих решений.

Организационная культура сельских малых субъектов хозяйствования рассматривается с позиции системы взаимоотношений между участниками, в основе которых лежит определенная система ценностей. К основным критериям оценки организационной культуры следует отнести существующий практический опыт, философию предпринимательства, правила игры, групповые нормы, поведенческие стереотипы, типы мышления и морально-психологический климат. Оценка по данной группе показателей проводится посредством анкетирования респондентов, в качестве которых выступают участники типовых малых субъектов хозяйствования: главы хозяйств, население, руководители фермерских хозяйств, члены их семей, наемные работники.

Блок показателей достижения целей развития завершает оценку реализованного потенциала сельских малых форм хозяйствования и определяет результаты их трансформации – степень достижения поставленных целей. На основании полученных показателей можно определить степень востребованности произведенной продукции на рынке, а также ее соответствие качеству и критериям безопасности, что во многом определяется эффективностью управления.

Этап 4. Показатели оценки эффективности деятельности сельских малых форм хозяйствования должны охватывать эффективность производства отдельных видов продукции (в данном случае предлагается – зерновых культур, молока), показатели на основе окупаемости затрат, производительности труда (табл. 4), что позволяет оценить эффективность субъектов хозяйствования с различных позиций. В данный блок показателей не включены прибыль и рентабельность деятельности малых хозяйственных формирований, как показатели результативности, поскольку деятельность личных подсобных хозяйств не относится к предпринимательской, и они не представляют статистической отчетности в органы государственной статистики, а получение необходимой информации посредством анкетирования их участников делает некорректным сопоставление прибыли ЛПХ и фермерских хозяйств из-за способов сбора информации.

Этап 5. Завершающей процедурой оценки ре-

Таблица 4. Показатели экономической эффективности деятельности сельских малых субъектов хозяйствования

Наименование показателей
Среднегодовой удой молока, кг
Урожайность зерновых, ц/га
Стоимость продукции в расчете на 1 руб. вложенных затрат, руб.
Стоимость валовой продукции на 1 га сельскохозяйственных угодий, тыс. руб.
Стоимость валовой продукции на 1 занятого в производстве сельскохозяйственной продукции, тыс. руб.
Произведено продукции в стоимостном выражении на душу населения, руб./ чел.

зультатов трансформации сельских малых субъектов хозяйствования является определение интегрального показателя уровня трансформации сельских субъектов хозяйствования:

$$Y = W_1 * I_{k1} + W_2 * I_{k2} + \dots + W_m * I_{kp}, \quad (4)$$

где $W_1, W_2, \dots, W_m$ – весовые значения групп критериев, на основании которых проводится оценка трансформации сельских малых форм хозяйствования. Определяется экспертами.

$I_{k1}, I_{k2}, \dots, I_{kp}$ – комплексные индексы изменений показателей по группам,

где p – количество групп показателей.

Далее необходимо сделать выводы о ходе трансформации сельских малых форм хозяйствования на основе полученных результатов по блокам показателей, для чего автором разработана оценочная шкала (табл. 5).

Поскольку в основе разработанной методики используются индексы, как адекватный показатель результатов аграрной реформы, установлено, что значения интегрального показателя, находящиеся в рамках от 0 до 1, свидетельствуют о деградации субъектов хозяйствования, снижении эффективности их деятельности, усилении социальной незащищенности сельских тружеников, ограниченности ресурсной базы и отсутствии возможности расширенного производства. Если показатель больше 1, имеет место эффективная трансформация, результаты которой позитивно влияют на развитие села и малых субъектов хозяйствования.

Таблица 5. Оценочная шкала результатов трансформации сельских малых форм хозяйствования

Неэффективность проводимых преобразований	Прежний уровень	Развитие сектора малых форм хозяйствования
$0 < Y < 1$	$Y = 1$	$Y > 1$

Негативные тенденции, выявленные в ходе оценки трансформации малых хозяйственных формирований в разрезе блоков показателей, позволяют установить, в какой конкретно сфере были допущены ошибки в процессе структурных преобразований, и определить направления государственной поддержки села для развития малых форм хозяйствования.

Заключение

Предложенная методика оценки результатов трансформации сельских малых форм хозяйствования основана на определении интегрального показателя, включающего оценку социальных условий жизни населения, степень реализованности потенциала малых форм хозяйствования и эффективность их деятельности, что позволяет рассмотреть изменение условий жизни сельского населения и результаты его жизнедеятельности в контексте развития деловой активности. Данная методика может быть использована для оценки эффективности трансформации личных подсобных хозяйств, фермерских хозяйств или малых предприятий.

Преимущество предложенной методики оценки результатов трансформации сельских малых форм хозяйствования заключается в использовании, как данных официальной статистики, так и экспертных оценок, дополненных анкетированием участников. Это позволяет, с одной стороны, дать достоверную оценку основных экономических показателей развития частного сектора, а с другой – оценить те показатели, которые не подлежат учету и не могут быть количественно определены.

Научная и практическая значимость предлагаемой методики состоит в возможности оценить уровень произошедших трансформаций в сельской местности и установить причины, вызвавшие отклонение от ожидаемых результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Збарський, В.К. Становлення та розвиток малих форм господарювання сільських поселень

України: дис. ... доктора екон. наук: 08.07.02 / В.К. Збарський. – Миколаїв, 2006. – 456 с.

2. Регіональна інтеграція / П. Т. Саблук [та ін.]. – К.: ННЦ «Ін-т аграр. економіки», 2010. – 365 с.

3. Юрчишин, В.В. Господарства населення: проблеми майбутнього / В.В. Юрчишин // Економіка України. – 2003. – № 9. – С. 67-72.

4. Яворська, Т.І. Когнітивне моделювання факторів впливу на збільшення прибутку суб'єктів малого бізнесу в сільському господарстві / Т. І. Яворська // Університетські наукові записки. – 2013. – № 2. – С. 151-157.

5. Макаренко, Ю. П. Господарства населення: їх класифікація та перспективи розвитку / Ю. П. Макаренко // Агросвіт. – 2013. – № 5. – С. 27-30.

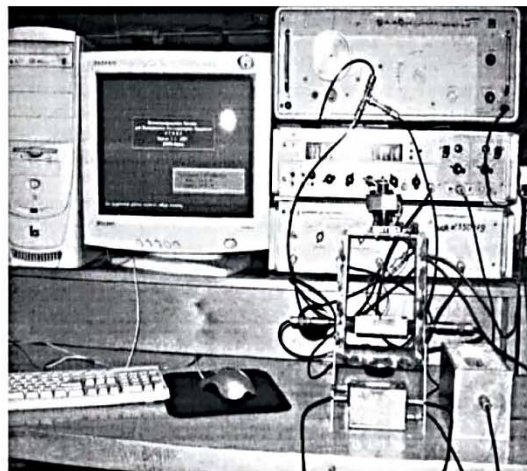
6. Бондарь, С.В. Состояние и перспективы трансформации сельских малых форм хозяйствования: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.04 / С.В. Бондарь. – Луганск, 2013. – 170 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 08.01.2018 Г.

Информационная измерительная система для измерений физических, геометрических, структурных характеристик материалов

Предназначена для исследования и тестирования состояния материалов и сред на основе анализа закономерностей параметрического воздействия изменяющихся во времени характеристик на частотно-фазовые соотношения зондирующих акустических и электрических колебаний.

Измерительная система успешно применена для изучения свойств и состояния магнитных и немагнитных металлов, полимерных композитов, включая кинетику их перехода к твердому состоянию.



Основные технические данные

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Погрешность
Электрическая емкость	20... 1000 пФ	$3 \cdot 10^{-2}$ пФ
Индуктивность	10...1000 мкГн	$3 \cdot 10^{-2}$ мкГн
Удельная электрическая проводимость	$10^5 \dots 5 \cdot 10^7$ См/м	10^{-3} См/м
Диэлектрическая проницаемость	1...20	10^{-3}
Избыточная температура	100...500 К	10^{-3} К
Относительные изменения скорости ультразвука	300...6000 м/с	10^{-5}
Малые перемещения	0...1 мм	1 мкм

УДК 378.01:62

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ НА КАФЕДРЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ И ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН БГАТУ

Н.Л. Ракова,

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

Т.В. Бойко,

доцент каф. сельскохозяйственных машин, канд. техн. наук, доцент

В статье обобщен опыт сотрудников кафедры теоретической механики и теории механизмов и машин Белорусского государственного аграрного технического университета в образовательном процессе подготовки студентов в области проектирования и производства сельскохозяйственной техники и технического обеспечения процессов сельскохозяйственного производства. Проанализированы основные методы и инструменты, используемые для обучения студентов: лекционные материалы, включающие мультимедийные презентации, материалы для проведения управляемой самостоятельной работы студентов (УСРС), система дистанционных образовательных ресурсов на базе системы Moodle, электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК), система обмена информацией между студентами и преподавателями с использованием современных технологий.

Ключевые слова: теоретическая механика, методы обучения, лекционные материалы.

The article summarizes the experience of the staff of the Department of Theoretical Mechanics and the Theory of Mechanisms and Machines of the Belarusian State Agrarian Technical University in the educational process of students' preparation in the design and production of agricultural machinery and technical support for agricultural production processes. The basic methods and tools used for teaching students are analyzed: lecture materials, including multimedia presentations, materials for conducting students' independent work, a system of distance learning resources based on the Moodle system, the electronic educational and methodical complex (EEMC), the information exchange system between students and teachers using modern technologies.

Keywords: theoretical mechanics, teaching methods, lecture materials.

Введение

Теоретическая механика, как одна из фундаментальных наук, важна для понимания и усвоения многих технических дисциплин, а также формирования инженерного мышления в целом. Изучение основных методов и средств, используемых для обучения студентов в области механики, базируется на личном опыте преподавания теоретической механики и теории механизмов и машин в течение последних десяти лет.

Целью данной работы является разработка современного учебного процесса при обучении студентов в Белорусском государственном аграрном техническом университете. Исследование базируется на разработанных и используемых на кафедре теоретической механики и теории механизмов и машин учебно-методических материалах: учебниках и учебно-методических комплексах (УМК), электронных учебно-методических комплексах (ЭУМК), а также результатах управляемых самостоятельных работ студентов и итогового контроля знаний.

Основная часть

Проблемы высшего технического образования в Республике Беларусь

К сожалению, за последние десять лет количество часов на изучение теоретической механики при подготовке инженеров в высших учебных заведениях республики существенно сократилось. В ряде программ, где теоретическая механика всегда присутствовала, курс аудиторных занятий сократился практически на 25 %. Сокращение учебных часов на изучение теоретической механики стало поводом для поиска новых возможностей более эффективного прочтения лекций, проведения практической работы и контроля знаний студентов. С этой целью на кафедре были применены технические средства и современные информационные технологии, которые стали основой для нового направления методической работы. Таким образом, перед педагогическим составом стояла задача: при наличии данных материальных ресурсов, представить классическое содержание дисциплины в новой форме. Необходимо обратить вни-

мание на вопросы, которые не были напрямую связаны с методикой преподавания теоретической механики и теорией механизмов и машин, но являются общей проблемой при обучении в государственных вузах сельскохозяйственного профиля.

Прием на 1 курс осуществляется по результатам централизованного тестирования (ЦТ), в которое входят обязательные экзамены по математике и физике. Оценками, приравненными к удовлетворительным по результатам ЦТ (в баллах по стобалльной шкале), являются оценки от 5 до 100 баллов (включительно) по таким учебным предметам, как математика и физика, при осуществлении набора в учреждения высшего образования (УВО) по группам специальностей «Агроинженерия». Снижение минимального проходного балла позволило студентам с более низким уровнем знаний поступить в университет. Соответственно, общий уровень знаний студентов первого курса стал значительно ниже, чем десять лет назад. Низкий уровень знаний становится для студентов препятствием при попытке освоить большой объем новой терминологии и информации. Поэтому во время лекций необходимо использование таких технологий, которые позволяют обучающимся воспринимать новые понятия, термины и определения дисциплины не только в устной форме, но и увидеть соответствующие записи. Это дает возможность студентам лучше понимать представленную информацию и более глубоко изучить тему лекции.

Внедрение современного оборудования и программ в образовательный процесс

В настоящее время большинство лекционных аудиторий университета оснащены современной компьютерной техникой, а дополнительные интерактивные доски позволяют студентам визуализировать материалы лекций. Преподавателям БГАТУ была предоставлена возможность пройти курсы повышения квалификации на базе РИВШ и БГАТУ по таким дисциплинам, как «Проектирование и разработка электронных учебно-методических комплексов в системе высшего образования», «Разработка электронных материалов для дистанционного обучения», «Мультимедиа», «Дистанционное и интерактивное обучение в педагогической деятельности сотрудников БГАТУ».

Создание слайдов, включая чертежи, расчетные схемы и математические формулы – процесс очень трудоемкий, но результат оправдывает средства. Преподавателям университета потребовалось около полугода, чтобы подготовить первоначальный набор слайдов. В дальнейшем электронное сопровождение лекционного материала позволило быстро корректировать и обновлять информацию.

При создании презентации очень важно применять анимацию, которая позволяет показывать материал на экране постепенно, со скоростью, близкой к скорости записи на доске. Это особенно важно, так как новую терминологию, определения и формулировки студенты воспринимают не только на слух, но и визуально. Необходимо подчеркнуть, что при прочтении

лекции с помощью мультимедиа, представленный на слайде материал дополняет устный компонент и традиционную запись на доске.

Еще одно преимущество создания мультимедийных презентаций заключается в том, что она позволяет вернуться на предыдущий слайд, что дает возможность выяснить наиболее важную информацию, посмотреть соответствующие графические иллюстрации, которые очень важны для лучшего понимания материала (рис. 1).



- **Зубчатый механизм** – это механизм в котором подвижными звеньями являются зубчатые колеса.

Классификация зубчатых колес:

- Плоские и пространственные



Рис. 1. Примеры слайдов [1]

С развитием современных технологий, все то, что было когда-то невозможным, стало возможно. Использование мультимедиа, фотографий и видео позволяет существенно активизировать внимание слушателей. В ходе практических занятий, открытые слайды с материалами лекций могут служить в качестве основного справочного материала для решения задач. Наличие материалов лекций в электронном формате позволяет преподавателям и студентам использовать их для дистанционного обучения.

Существуют огромные возможности для повышения интереса учащихся и понимания дисциплины с использованием Интернета. Свободный доступ к теоретической информации, видео и анимационные материалы, которые наглядно демонстрируют предметы и явления, о которых идет речь при чтении курса, в большой степени способствует лучшему усвоению дисциплины (рис. 2). В среднем, при чтении каждой лекции используются около 20 слайдов.

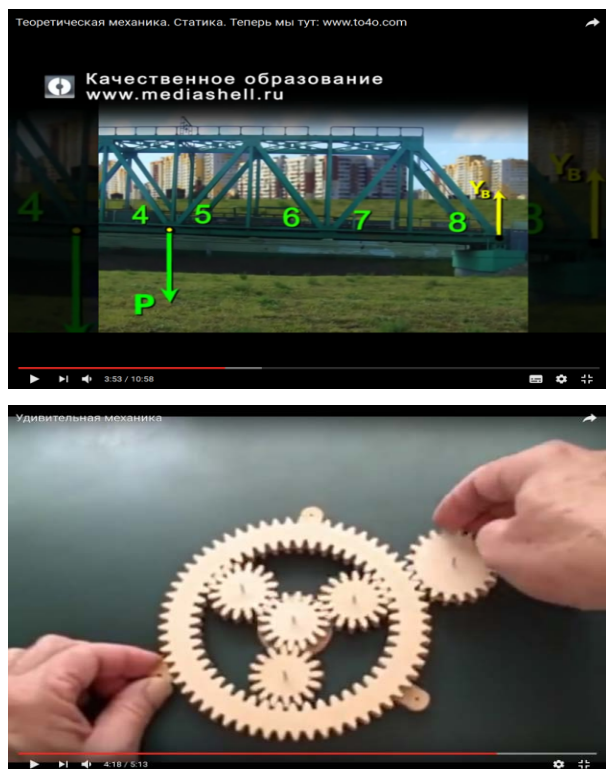


Рис. 2. Примеры применения анимации и видео в презентациях [1, 2]

Сильное впечатление на студентов производит демонстрация реальных машин и механизмов, а также реальных чрезвычайных ситуаций и аварий, позволяющая преподавателям подчеркнуть важность знания теории, например, при изучении раздела «Колесания в теоретической механике» (рис. 3).

Использование Интернет-портала БГАТУ

Несколько лет назад в университете стала применяться система дистанционных образовательных ресурсов на базе системы Moodle, в которой сконцентрированы все информационные и коммуникационные функции. При ее использовании каждый преподаватель имеет возможность размещать учебные материалы, задания и тесты в дополнение к уже полученным студентами заданиям на лекциях и практических занятиях. Студенты же имеют доступ к ЭУМК, в которых представлена полная информация по изучаемым дисциплинам. Навыки, необходимые для работы в системе Moodle, приобретаются и совершенствуются в течение всего периода обучения. Поэтому после того, как студенты освоят предоставленные технологии, скорость работы, выполняемой с помощью компьютера, будет выше, чем традиционными методами (рис. 4).

Индивидуализация заданий студентов

Задания для самостоятельной внеаудиторной работы студентов по каждой теме состоят из ста вариантов, что вполне достаточно для существующих групп. Задачи являются традиционными, их количество в семестре для каждого студента колеблется от 4 до 7, в зависимости

сти от специальности. Они размещены в электронном виде в соответствующем разделе ЭУМК и доступны для каждого студента. В ЭУМК также представлены примеры решения задач по каждой теме. Это особенно важно для студентов первого курса, которые не имеют достаточного опыта решения задач.

В настоящее время сотрудники кафедры теоретической механики и теории механизмов и машин совместно с преподавателями кафедры сельскохозяйственных машин разрабатывают индивидуальные задания с использованием схем реальных сельскохозяйственных машин (рис. 5). Опыт решения этих задач может быть использован при курсовом и дипломном проектировании. Преподаватели кафедры разработали тестовые задания, которые размещены в системе дистанционного образовательного ресурса БГАТУ. Эти тесты могут быть использованы студентами для самоконтроля.

В целях контроля знаний студентов, преподавателями кафедры теоретической механики и теории механизмов и машин Белорусского государственного аграрного технического университета разработаны тестовые задания и задания для проведения зачета и экзамена. Тестовые задания представлены в виде коротких задач, схемы которых достаточно просты и понятны. Все задачи снабжены ответами. Для их решения нет необходимости выполнять сложные математические преобразования и расчеты, но необходимо понимать их физический смысл.

Опыт показывает, что в последние годы контроль знаний по модулям (разделам дисциплины) чаще всего проводится в письменной форме и во время проведения поточных лекций. Проверка большого количества выполненных заданий требует от преподавателя значительных временных затрат. Подготовленный комплект



Рис. 3. Пример демонстрации в движении [3]



Рис. 4. Примеры интерфейса системы дистанционного образования

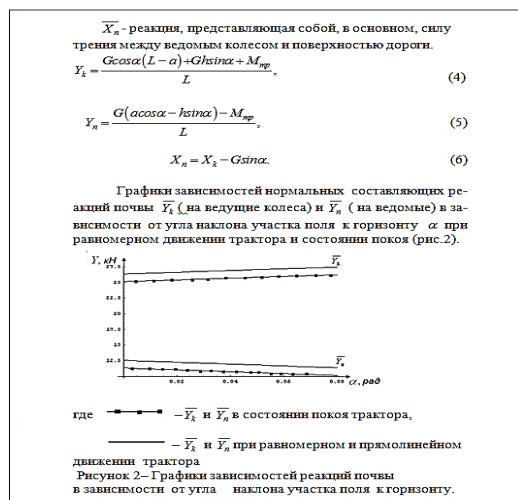


Рис. 5. Пример индивидуального задания

ответов для данных заданий позволяет существенно сократить время для проверки работ.

Курсовое проектирование

Курсовое проектирование по теории механизмов и машин посвящено анализу и синтезу механизмов и машин, применяемых в сельскохозяйственном машиностроении (двигатель внутреннего сгорания, поршневой компрессор, санный пресс, механизм грохота комбайна, планетарный механизм, кулачковый механизм с роликовым толкателем, либо коромыслом). Ежегодно, при разработке заданий по курсовому проектированию, обновляются схемы механизмов и числовые значения исходных данных.

Методическая обеспеченность позволяет студентам как очной, так и заочной форм обучения, выполнять курсовой проект самостоятельно и в полном объеме. Так, в библиотеке университета имеются печатные и электронные варианты учебно-методических пособий по курсовому проектированию, в которых подробно изложены многие вопросы исследования механизмов, применяемые в курсовом проектировании. Один из разделов ЭУМК полностью посвящен курсовому проекти-

рованию. Руководители курсовых проектов работают со студентами с момента выдачи заданий до полной защиты выполненных курсовых проектов, как в университете, так и дистанционно, при помощи Интернета и мессенджеров (Skype и Viber).

Ответы студентов

На кафедре в течение ряда лет в конце каждого семестра проводится опрос студентов. Это анонимный опрос, позволяющий обеспечить обратную связь. Студенты могут выразить замечания или подчеркнуть положительные стороны методики преподавания. Обобщенные результаты доводятся до сведения ответственных преподавателей и заведующего кафедрой. Анализ ответов позволяет отметить, что все приемы, перечисленные в этой статье, которые применяются в процессе преподавания теоретической механики и теории механизмов и машин на кафедре, оцениваются студентами положительно. Современная молодежь связана с информационными технологиями с детства и способна понять сложные фундаментальные знания, необходимые в процессе изучения теоретической механики и теории механизмов и машин, с помощью технологий, доступных сегодня.

Заключение

1. Теоретическая механика важна для понимания не только механики, но и для развития инженерного мышления в целом.
2. На основе многолетнего опыта преподавания теоретической механики и теории механизмов и машин, в образовательном процессе БГАТУ успешно применяются современные средства и методы обучения.
3. Профессорско-преподавательский состав университета открыт для инноваций в образовательном процессе и использует новые методики и разработки в процессе обучения.
4. Визуализация материалов лекций и практического обучения делают традиционно сложный курс теоретической механики и теории механизмов и машин более привлекательным и понятным для студентов, повышают интерес к изучению предмета и улучшают прогресс, который является основной целью образования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удивительная механика [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=7LEXJyg3V0k>. – Дата доступа: 02.04.2017.
2. Теоретическая механика. Раздел статика. Расчет ферм. [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=vW2Cs9dKkl>. – Дата доступа: 12.04.2017.
3. Tacoma Narrows Bridge Collapse "Gallopin' Gertie" [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=j-zczJXSxmw>. – Дата доступа: 22.03.2017.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.05.2017

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 строку;

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, используются 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 «Заклучение» 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*

Технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ)

Предназначена для упрочнения сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники.

Преимущества ТИЗОЖ: используются конструкционные нелегированные стали (типа 60ПП); высокая износостойкость изделий (ресурс лемехов, долот, дисков - не менее 50 га;).

Разработанная технология внедрена на 13 предприятиях Республики Беларусь и применяется при изготовлении деталей на ОАО «КЗТШ», ПРУП «МЗШ», ДП «Минойтовский РЗ», ОАО «БЭМЗ», ОАО «Дрогиченский ТРЗ», ОАО «Бобруйскагропроммаш», ОАО «Оршаагропроммаш», КУПП «Берёза РАС», ОАО «Минский РАС», ОАО «Лида РАС», ОАО «Лидсельмаш», ОАО «Бобруйсксельмаш», ОАО «Витебский МРЗ».

Годовой экономический эффект использования ТИЗОЖ на ОАО «БЭМЗ», ОАО «Минский РАС», ОАО «Витебский МРЗ» в 2017 году составил свыше 80 тыс. руб.

