

ISSN 2410-5031

Научно-практический журнал

АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ



ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА

№ 2 (19), 2018г.

ОРЕЛ 2018

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – кандидат технических наук, доцент **А.В. Виноградов**
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Буяров Виктор Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Васильев Алексей Николаевич, доктор технических наук, профессор, зам. руководящего направлением «Электрификация сельского хозяйства (ВИЭСХ)», Россия, г. Москва, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Южаников Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, директор по науке и инновационной деятельности ОАО «Сибирский научно-исследовательский и проектный институт цветной металлургии».

Олин Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение» ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Попов Николай Малафеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия».

Шарунич Вадим Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, академик МАЭН, директор НИПИ «Градоагропропром».

Черкасова Нина Ильинична, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой электроэнергетики Рубцовского промышленного института Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул.

Конюшин Иван Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, декан факультета агротехники и энергообеспечения ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Коломейченко Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Надежность и ремонт машин» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Жосан Артур Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «ЭМТП и тракторы» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

Кузнецов Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Надежность и ремонт машин» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Серебряков Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Осокин Владимир Леонидович, кандидат технических наук, зав. кафедрой «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Шпиганович Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрооборудования ФГБОУ ВО «Ипещкий государственный технический университет», член-корреспондент Российской Академии Естествознания.

Гавриченко Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, профессор кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, академик МАНЭБ.

Скобло Тамара Семеновна, доктор технических наук, профессор, академик Инженерной академии Украины, профессор кафедры «Технические системы ремонтного производства» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко.

ПЕРЕВОДЧИК – старший преподаватель **Н.В. Махиянова**

ПЕРЕВОДЧИК – кандидат филологических наук, доцент **Т.А. Кудинова**

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ – кандидат технических наук, доцент **Р.П. Беликов**

Зарегистрировано в федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), номер свидетельства ПИ № ФС 77-70679, дата регистрации 21.08.2017.

Договор с РИИЦ №410-07/2014 от 15.07.2014г.

ISSN 2410-5031

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

Адрес издателя и редакции: 302019, г. Орел, ул. Ген. Родина, 69, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, факультет агротехники и энергообеспечения, ауд. 2-211.

Тел.: 8(4862) 76-11-07

Адрес типографии, 302028, г. Орел, бульвар Победы, 19. ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Тел.: 8(4862) 43-25-53

E-mail: winaleksandr@yandex.ru

Дата выхода журнала: 29.06.2018г.

© ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2018

Распространяется бесплатно.

ОГЛАВЛЕНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ В АПК И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОСИФОНОВ ДЛЯ ОСУШЕНИЯ
ВОЗДУХА 7

**Л.Л. Васильев¹, А.С. Журавлев¹, А.В. Шаповалов², А.В.
Родин², П.А. Адаменко²**

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова
Национальной академии наук Беларуси¹

ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь²

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ И МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕЖУРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ
И СВЕТОВОЙ СТРОБОСКОПИЧЕСКОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ
НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ УЧАСТКАХ ВОЗДУШНОЙ
ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ 19

В.А. Чернышов, П.С. Поляков

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА
ПОКАЗАТЕЛИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ И
ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА 28

**О.Г. Широков, Т.В. Алферова, В.В. Бахмутская, И.Ю.
Юрлов**

УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г.Гомель Республика Беларусь

ОЦЕНКА УРОВНЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НАПРЯЖЕНИЯ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЧАСТОТНОГО
ПРИВОДА ALTIVAR 61 41

**О.Г. Широков, Т.В. Алферова, О.С. Шведова, А.А.
Скулимовский**

УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г.Гомель Республика Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКРЫТЫХ
ПРОВОДОВ НА ЛИНИЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ 53

О.Ю. Пухальская, К.М. Медведев

УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОСВЕЩЕНИЯ
ПТИЧНИКОВ С КЛЕТОЧНОЙ СИСТЕМОЙ СОДЕРЖАНИЯ 60

Д.О. Зуев, Н. Е. Пономарева

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО
Донской ГАУ, г. Зерноград

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

ОПЫТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО СТАНДАРТУ ISO 50001. 67

А.И.Миролимов¹, Ж.З.Ахадов², Н.Ш.Мухторов³

¹-Ташкентский Технический Университет

²-Международный институт солнечной энергии

³- УП Бухарский НПЗ

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСЕВАЮЩИХ АППАРАТОВ
ДЛЯ ВЫСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР 74

Р.А. Булавинцев

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СОШНИКОВ СОВРЕМЕННЫХ
СЕЯЛОК ДЛЯ ПРЯМОГО ПОСЕВА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР 85

Р.А. Булавинцев

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЧИСТКИ СЕМЯН КАРУСЕЛЬНОГО
ТИПА 92
Ю.А. Медведев, А.В. Галкин
ФГБНУ ВНИИМЛ

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ НА
КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЕЁ РАБОТЫ 101
А.В. Нанка, Ю. Н. Сыромятников
Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко (ХНТУСХ)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ 116
Э.В. Карпович
Орловский государственный аграрный университет им. Н.В.
Парахина

ФИЗИЧЕСКОЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ, КОМПЬЮТЕРНОЕ И ЭЛЕКТРОМОДЕЛИРОВАНИЕ

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ВЕБСТЕРА ДЛЯ ПЕРЕХОДНИКОВ
РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ 128
Т.А. Павлова, М.Н. Уварова
Орловский государственный аграрный университет имени
Н.В. Парахина

РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ ПРОМЫШЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ УЧЕБНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ 139
Э.В. Карпович
Орловский государственный аграрный университет им. Н.В.
Парахина

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В РАЗРАБОТКЕ ИННОВАЦИОННЫХ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ 150

А. С. Коломейченко, В.Г. Шуметов

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им.
Н.В. Парахина»

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ПИЩЕВЫХ
ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-
АНАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ 156

Ш. Яшузакова, Т. Катаргина, Т.А. Павлова

Орловский государственный аграрный университет имени
Н.В. Парахина

УДК 697.934:62-713.81

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОСИФОНОВ ДЛЯ ОСУШЕНИЯ
ВОЗДУХА**

Л.Л. Васильев¹, А.С. Журавлев¹, А.В. Шаповалов², А.В. Родин²,
П.А. Адаменко²,

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова
Национальной академии наук Беларуси¹
ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь²

Аннотация. В статье рассмотрен способ осушения влажного воздуха с помощью термосифонов, который позволяет снизить затраты электроэнергии и объем заправки холодильной установки, применяемой для конденсации влаги из воздуха. Предложена принципиальная схема установки по осушению воздуха с помощью термосифонов. Представлен метод расчета термического сопротивления термосифонов, заправленных дистиллированной водой и этиловым спиртом. Сопоставлены результаты экспериментов с результатами расчетов пародинамического термосифона и термосифона без внутренних циркуляционных вставок.

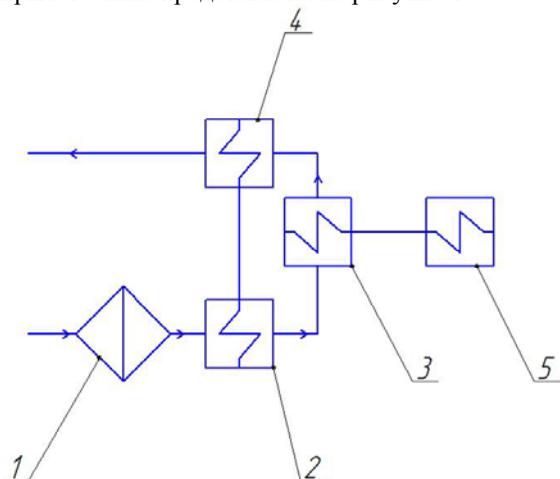
Ключевые слова: термосифон, термическое сопротивление, осушение воздуха, влажный воздух, теплообменник, компрессор.

Введение. Одним из методов осушения воздуха является обеспечение конденсации водяного пара влажного воздуха на поверхности испарителя парокомпрессионной холодильной установки. Этот метод требует больших затрат электроэнергии. Снижение затрат энергии для привода компрессора в парокомпрессионной холодильной установке, а также снижение объема заправки внутренних контуров хладоносителем возможно осуществить перераспределив часть нагрузки для охлаждения воздуха на теплообменные аппараты на основе высокоэффективных теплопередающих замкнутых двухфазных устройств – термосифонов, заправленных низкокипящим теплоносителем.

Разработка теплообменных аппаратов на основе теплопередающих замкнутых двухфазных устройств невозможна без знания тепловых характеристик этих элементов. Для расчета

теплообменников на основе термосифонов необходим метод определения термического сопротивления, который позволит рассчитывать аппараты различных размеров и конфигураций.

Основная часть. Одной из возможных областей применения теплообменных аппаратов на основе термосифонов являются установки кондиционирования воздуха. Принципиальная технологическая установка для осушения воздуха в плавательном бассейне закрытого типа представлена на рисунке 1.



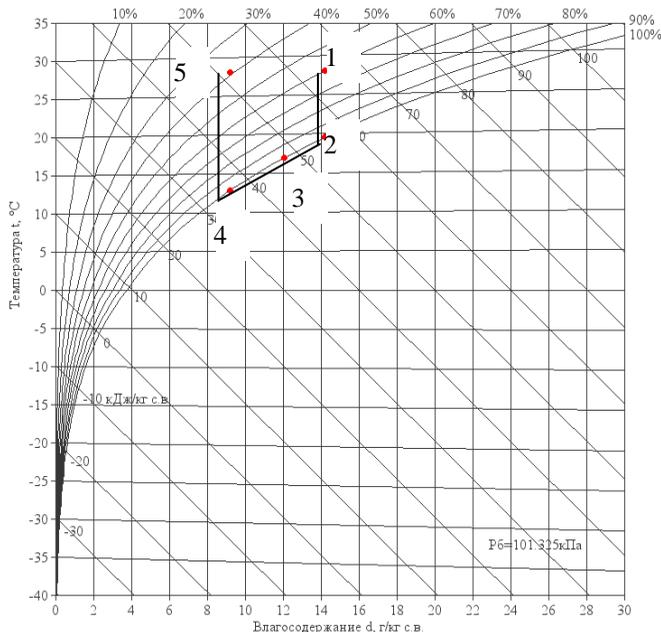
1 – блок фильтрации воздуха; 2 – испаритель теплообменника на основе тепловых труб; 3 – испаритель парокомпрессионной холодильной машины; 4 – конденсатор теплообменника на основе тепловых труб; 5 – конденсатор парокомпрессионной холодильной машины

Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема установки для осушения воздуха

Воздух с параметрами 26-31°C и относительной влажностью 40-60% через воздухозаборное устройство после прохождения системы фильтров подается на испаритель теплообменника, состоящего из пакета термосифонов, при этом отдает свое тепло. Происходит фазовый переход промежуточного теплоносителя внутри тепловых труб. В качестве промежуточного теплоносителя планируется использовать фреон R134a. Пары фреона поднимаются в зону конденсации. Воздух дальше подается на испаритель холодильной машины, где происходит основное осушение. Затем воздух попадает на конденсатор теплообменника на основе термосифонов, в результате чего пары фреона внутри труб термосифона конденсируются и по

стенкам теплообменных труб конденсат фреона стекает в зону испарения, а воздух подогревается до требуемой температуры. В результате на выходе из установки воздух имеет температуру равную температуре воздуха на входе в установку, но с уменьшенным влажосодержанием.

I-d диаграмма воздуха с изображенными процессами изменения состояния изображена на рисунке 2.



1-2-3 – охлаждение и частичное осушение воздуха испарителем теплообменника на основе тепловых труб; 3-4 – основное осушение воздуха в испарителе парокомпрессионной холодильной установки;

4-5 – нагрев воздух конденсатором теплообменника на основе тепловых труб;

Рисунок 2 – I-d диаграмма воздуха при прохождении через установку

Преимущество разрабатываемого устройства по сравнению с уже существующими аналогами: уменьшение эксплуатационных затрат за счет снижения мощности парокомпрессионной холодильной машины, снижение потребления электроэнергии. Это позволяет использовать устройство в системах с ограниченной мощностью, например, получающих электроэнергию от солнечных батарей.

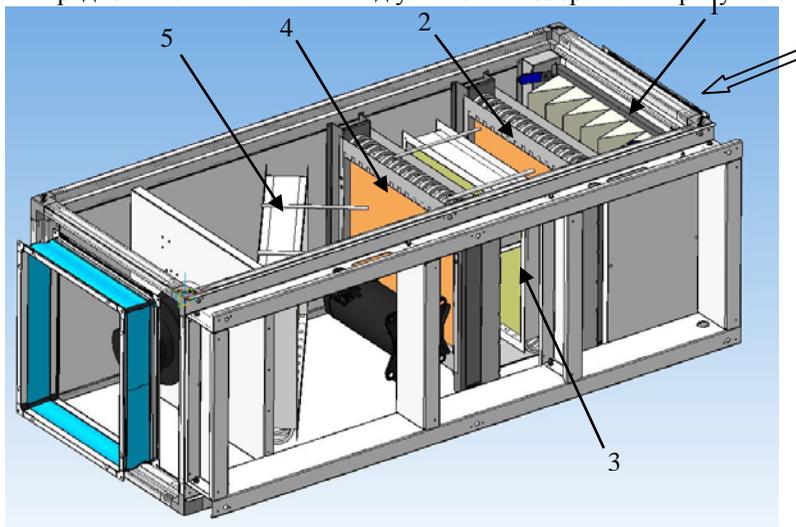
Тепло от конденсации фреона в конденсаторе парокомпрессионной холодильной установки в зимний период можно

использовать для дополнительного подогрева воздуха на нужды воздушного отопления. В летний период это тепло необходимо рассеивать в окружающую среду.

Таблица 1 – основные термодинамические параметры воздуха для различных точек процесса

Позиция	1	2	3	4	5
Температура t , °С	28	19,508	16,923	12,836	28
Относительная влажность ϕ , %	60	100	100	100	39,211
Влагосодержание d , г/кг	14,22	14,22	12,049	9,22	9,22
Удельная энтальпия i , кДж/кг	64,451	55,69	47,527	36,185	51,693
Плотность ρ , кг/м ³	1,162	1,196	1,208	1,227	1,165
Темп. мокрого термометра t_m , °С	22,074	19,508	16,923	12,836	18,373

Предполагаемый внешний вид установки изображен на рисунке 3.



1 – блок фильтрации воздуха; 2 – испаритель теплообменника на основе тепловых труб; 3 – испаритель парокомпрессионной холодильной машины; 4 – конденсатор теплообменника на основе тепловых труб; 5 – конденсатор парокомпрессионной холодильной машины

Рисунок 3 – Внешний вид установки

Разрабатываемая установка будет состоять из трех блоков. Первый блок – испаритель теплообменника на основе тепловых труб, второй блок – испаритель парокомпрессионной холодильной машины, третий блок – конденсатор теплообменника на основе тепловых труб. Теплообменники будут связаны между собой медными трубами диаметром 12,7 мм, при этом будет применяться двухходовая схема движения промежуточного теплоносителя (фреона R134a) в каждом блоке теплообменного аппарата.

Для выполнения теплового конструктивного расчета испарителя и конденсатора на основе термосифонов, необходимо разработать метод определения термического сопротивления двухфазного устройства. Эквивалентное термическое сопротивление в пародинамическом термосифоне:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad (1)$$

где R_1 – термическое сопротивление стенки испарителя на единицу поверхности, (м²·К)/Вт; R_2 – термическое сопротивление фазового перехода в зоне испарения, (м²·К)/Вт; R_3 – термическое сопротивление фазового перехода в зоне конденсации, (м²·К)/Вт; R_4 – термическое сопротивление стенки конденсатора на единицу поверхности, (м²·К)/Вт; R_5 – термическое сопротивления при передачи тепла от стенки конденсатора к охлаждающему воздуху на единицу поверхности, (м²·К)/Вт.

$$R_1 = \frac{d_2 \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}{2 \cdot \lambda} \quad (2)$$

где d_1 – внутренний диаметр трубы термосифона, м; d_2 – внешний диаметр трубы термосифона, м; λ – теплопроводность материала трубы термосифона, Вт/(м·К); для медной трубки $\lambda=401$ Вт/(м·К).

$$R_2 = \frac{1}{\alpha_2} \quad (3)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи при кипении в щели, Вт/м²·К [4].

$$\alpha_2 = 15,6 \cdot q^{0,6} \cdot \delta^{-0,154} \quad (4)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²; δ – ширина щели, м.

$$R_3 = \frac{1}{\alpha_3} \quad (5)$$

где α_3 – коэффициент теплоотдачи при конденсации, Вт/(м²·°С).

$$\alpha_3 = \frac{Nu \cdot \lambda_{ж.нас.}}{d_1} \quad (6)$$

где Nu – критерий Нуссельта [3]; $\lambda_{ж.нас.}$ – теплопроводность насыщенной жидкости, Вт/(м·К).

$$Nu = 0,555 \cdot \left[\frac{d_1 \cdot \rho_{ж.нас.} \cdot (\rho_{ж.нас.} - \rho_{пар}) \cdot g}{\lambda_{ж.нас.} \cdot \mu_{ж.нас.} \cdot \Delta t} \cdot (r_g + 0,68 \cdot c_{рж.нас.} \cdot \Delta t) \right]^{1/4} \quad (7)$$

где $\rho_{ж.нас.}$ – плотность жидкости, кг/м³; $\rho_{пар}$ – плотность пара, кг/м³; $\mu_{ж.нас.}$ – динамическая вязкость насыщенной жидкости, Н·с/(м²·10⁶); Δt – перепад температур между температурой стенки и температурой насыщения, °С; r_g – скрытая теплота конденсации, Дж/кг.

$$R_4 = \frac{d_2 \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}{2 \cdot \lambda} \quad (8)$$

$$R_5 = \frac{1}{\alpha_5} \quad (9)$$

$$\alpha_5 = \frac{Nu \cdot \lambda_{возд.}}{d_{канал}} \quad (10)$$

где Nu – критерий Нуссельта для теплоотдачи от стенки к воздуху; $\lambda_{возд.}$ – теплопроводность жидкости, Вт/(м·К); $d_{канал}$ – диаметр трубы в которой проходит охлаждающий воздух, м.

$$Re = \frac{\rho_{возд.} \cdot v \cdot d_2}{\mu_{возд.}} \quad (11)$$

где v – скорость потока воздуха, м/с.

$$v = \frac{Q_{возд.}}{\frac{\pi \cdot d_{канал}^2}{4} \cdot 3600} \quad (12)$$

Эквивалентное термическое сопротивление термосифона без внутренних циркуляционных вставок:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad (13)$$

где R_1 – термическое сопротивления стенки испарителя на единицу поверхности, (м²·К)/Вт; R_2 – термическое сопротивление фазового перехода в зоне испарения, (м²·К)/Вт; R_3 – термическое сопротивление фазового перехода в зоне конденсации, (м²·К)/Вт; R_4 – термическое сопротивления стенки конденсатора на единицу

поверхности, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$; R_5 – термическое сопротивление при передаче тепла от стенки конденсатора к охлаждающему воздуху на единицу поверхности, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

$$R_1 = \frac{d_2 \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}{2 \cdot \lambda} \quad (14)$$

где d_1 – внутренний диаметр трубы термосифона, м; d_2 – внешний диаметр трубы термосифона, м; λ – теплопроводность материала трубы термосифона, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

$$R_2 = \frac{1}{\alpha_2} \quad (15)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [5].

$$\alpha_2 = 0,434 \cdot q^{0,7} \cdot (p^{0,14} + 1,37 \cdot 10^{-2} \cdot p^2) \quad (16)$$

где q – плотность теплового потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$; p – давление насыщения, МПа.

Для сопоставления результатов эксперимента с результатами расчета в формуле 16 введен коэффициент 0,434, вместо 4,34, данного в первоначальном виде выражения.

$$R_3 = \frac{1}{\alpha_3} \quad (17)$$

где α_3 – коэффициент теплоотдачи при конденсации, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

$$\alpha_3 = \frac{Nu \cdot \lambda_{ж.нас.}}{d_1} \quad (18)$$

где Nu – критерий Нуссельта; $\lambda_{ж.нас.}$ – теплопроводность насыщенной жидкости, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

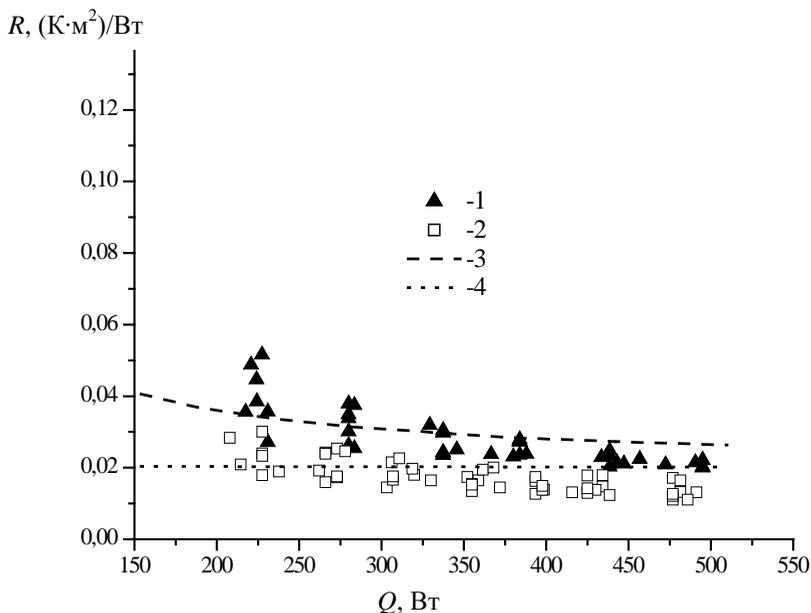


Рисунок 4 – Зависимость термического сопротивления от подводимого теплового потока для классического и пародинамического термосифонов, заправленных дистиллированной водой (1 – эксперимент, классический термосифон; 2 – эксперимент, пародинамический термосифон; 3 – результаты расчета, классический термосифон; 4 – результаты расчета, пародинамический термосифон)

$$Nu = 0,555 \cdot \left[\frac{d_1 \cdot \rho_{ж.нас.} \cdot (\rho_{ж.нас.} - \rho_{пар}) \cdot g}{\lambda_{ж.нас.} \cdot \mu_{ж.нас.} \cdot \Delta t} \cdot (r_g + 0.68 \cdot c_{рж.нас.} \cdot \Delta t) \right]^{1/4} \quad (19)$$

где $\rho_{ж.нас}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\rho_{пар}$ – плотность пара, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\mu_{ж.нас}$ – динамическая вязкость насыщенной жидкости, $\text{Н}\cdot\text{с}/(\text{м}^2 \cdot 10^6)$; Δt – перепад температур между температурой стенки и температурой насыщения, $^{\circ}\text{C}$; r_g – скрытая теплота конденсации, $\text{Дж}/\text{кг}$.

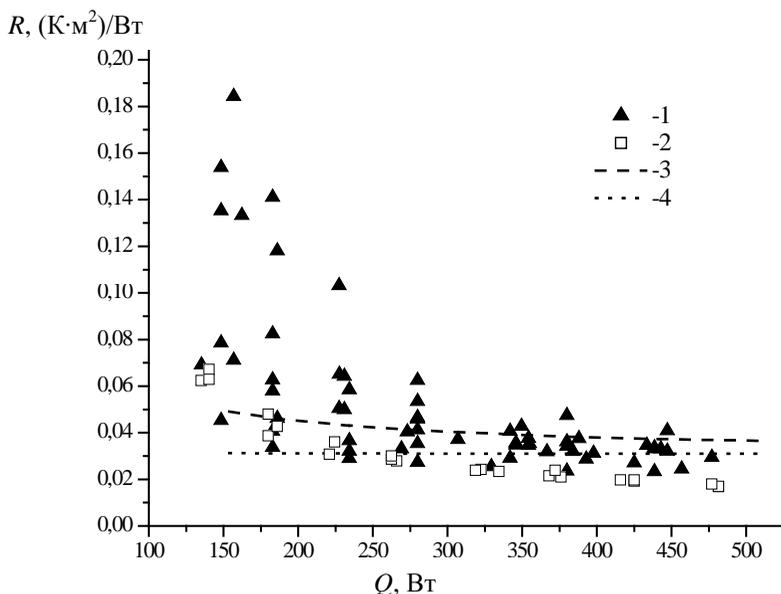


Рисунок 5 – Зависимость термического сопротивления от подводимого теплового потока для классического и пародинамического термосифонов, заправленных этиловым спиртом (1 – эксперимент, классический термосифон; 2 – эксперимент, пародинамический термосифон; 3 – результаты расчета, классический термосифон; 4 – результаты расчета, пародинамический термосифон)

$$R_4 = \frac{d_2 \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}{2 \cdot \lambda} \quad (20)$$

$$R_5 = \frac{1}{\alpha_5} \quad (21)$$

$$\alpha_5 = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{возд.}}}{d_{\text{канал}}} \quad (22)$$

где Nu – критерий Нуссельта для теплоотдачи от стенки к воздуху; $\lambda_{\text{возд.}}$ – теплопроводность жидкости, $Вт/(м \cdot К)$; $d_{\text{канал}}$ – диаметр трубы в которой проходит охлаждающий воздух, м; $d_{\text{канал}} = 0,15$ м.

$$Re = \frac{\rho_{\text{возд.}} \cdot v \cdot d_2}{\mu_{\text{возд}}} \quad (23)$$

где v – скорость потока воздуха, м/с.

$$v = \frac{Q_{\text{возд.}}}{\frac{\pi \cdot d_{\text{канал}}^2}{4} \cdot 3600} \quad (24)$$

Выводы. Из результатов исследований процесса теплообмена в термосифонах, проведенных с целью разработки эффективных теплообменных аппаратов для осушения воздуха, можно сделать следующие заключения:

1. Разработана принципиальная схема конструкции осушителя воздуха с использованием теплообменников на основе высокоэффективных замкнутых двухфазных теплопередающих устройств – термосифонов. Данная конструкция позволяет снизить затраты энергии для привода компрессора в пароконденсационной холодильной установке, а также уменьшить объем заправки внутренних контуров установки хладагентом.

2. Разработан метод расчета термического сопротивления двухфазных теплопередающих термосифонов классической цилиндрической конструкции и пародинамических термосифонов с кольцевыми каналами в испарителе и конденсаторе.

Список использованных источников:

1. Чи С. Тепловая труба: Теория и практика / С. Чи // пер. с англ. В.Я. Сидорова – М.: Машиностроение, 1981 – 207 с.

2. Дан П.Д. Тепловые трубы / П.Д. Дан, Д.А. Рей // пер. с англ. – М.: Энергия, 1979 – 272 с.

3. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ. / Справочник. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.

4. Чернобыльский И.И., Тананайко Ю.М. Теплообмен при кипении жидкости в кольцевой щели // Инж.-физ. Журн. – 1956. – 24, №10. – с 2316-2332

5. РД 24.035.05-89 Методические указания. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного оборудования АЭС.

6. Родин, А.В. Экспериментальный стенд для получения характеристик пародинамического термосифона / А.В. Родин // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 24-25 апр. 2014 г. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2013. – с.204-207

7. Васильев Л.Л., Журавлёв А.С., Шаповалов А.В., Родин А.В. Использование теплообменников на тепловых трубах для кондиционирования, в области пищевой промышленности и холодильной техники // Весці НАН Беларусі. Сер. фізика-тэхнічных навук. 2014. N 3. – С. 85–90.

Л.Л. Васильев, д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник, Республика Беларусь, г. Минск, Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси

А.С. Журавлев, к.т.н., главный научный сотрудник, Республика Беларусь, г. Минск, Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси

А.В. Шаповалов, к.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология», Республика Беларусь, г. Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого

А.В. Родин, ассистент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология», Республика Беларусь, г. Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого

П.А. Адаменко, магистрант, Республика Беларусь, г. Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого

APPLICATION OF THERMOSYPHONES FOR AIR DEHUMIDIFICATION

L.L.Vasiliyev, A.S. Zhuravlev, A.V.Shapovalov, A.V.Rodin,
P.A. Adamenko,

Abstract. The article considers the method for dehumidification of moist air with the help of thermosyphons, which makes it possible to reduce energy costs and the volume of filling of the refrigeration unit, which is used to condense moisture from the air. A schematic diagram of an installation for dehumidifying air using thermosyphons is proposed. A method for calculating the thermal resistance of thermosyphons filled with distilled water and ethyl alcohol is presented. The results of experiments with the results of calculations of a parodynamic thermosyphon and a thermosyphon without internal circulation inserts are compared.

Key words: thermosyphone, thermal resistance, air dehumidification, moist air, heat exchanger, compressor.

L.L.Vasiliyev, doctor of technical sciences, professor, chief researcher, the Republic of Belarus, Minsk, State Scientific Institution «A.V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus», lvasil@hmti.ac.by

A.S. Zhuravlev, ph.d., leading researcher, the Republic of Belarus, Minsk, State Scientific Institution «A.V. Lykov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus», zhuravl@hmti.ac.by

A.V.Shapovalov, ph.d., assistant professor of "Industrial energy and ecology", the Republic of Belarus, Gomel, Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy, a_v_shapovalov@gstu.by

A.V.Rodin, assistant of "Industrial energy and ecology", the Republic of Belarus, Gomel, Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy, a_v_rodin@gstu.by

P.A. Adamenko1 Master of Arts, the Republic of Belarus, Gomel, Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy, pauladams@bk.ru

УДК 628.971.6+654.912.8]:621.315.1

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕЖУРНОГО
ОСВЕЩЕНИЯ И СВЕТОВОЙ СТРОБОСКОПИЧЕСКОЙ
СИГНАЛИЗАЦИИ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ
УЧАСТКАХ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ**

В.А. Чернышов, П.С. Поляков

**ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия**

Аннотация. Низкий уровень надежности и повышенный электротравматизм в настоящее время по-прежнему являются весьма актуальными проблемами для воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 10 кВ. Согласно статистики, наиболее частыми видами повреждений, на ВЛ 10 кВ, являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) и двойные замыкания на землю (ДЗЗ). Данные повреждения доставляют много трудностей персоналу оперативно-выездной бригады (ОВБ) и являются причиной электротравматизма, связанного с действием шагового напряжения и напряжения прикосновения.

Процесс отыскания ОЗЗ на ВЛ 10 кВ для персонала ОВБ является не только сложным, но и опасным видом работ, а особенно в темное время суток и, или, при воздействии неблагоприятных погодных-климатических факторов. В настоящее время ни одно из технических устройств, применяющихся в электрических сетях 10 кВ, в условиях недостаточной видимости, не способно эффективно сигнализировать персоналу ОВБ о месте возникновения ОЗЗ и ДЗЗ, а также не может быть использовано для повышения электробезопасности на потенциально опасных участках ВЛ 10 кВ. Весьма эффективным решением в данной ситуации, может являться установка на опорах ВЛ 10 кВ светотехнических приборов, обеспечивающих световое стробоскопическое сигнализирование ОЗЗ и осуществляющих дежурное освещение потенциально опасных участков ВЛ 10 кВ. Предполагается, что данное мероприятие позволит, в условиях недостаточной видимости, в значительной степени, повысить эффективность и безопасность процесса

отыскания ОЗЗ и ДЗЗ для персонала ОВБ, а также обеспечит безопасность жизнедеятельности работников агропромышленного комплекса. Это позволит коренным образом изменить негативное отношение обывателей и специалистов к распределительным электрическим сетям с изолированной нейтралью и позволит перевести их на более высокий уровень технической эволюции. В данной публикации сформулированы основные требования, предъявляемые к светотехническим приборам, устанавливаемым на опорах ВЛ 10 кВ, а также рассмотрены специфика их электропитания и управления режимами их работы.

Ключевые слова: электробезопасность, линии электропередачи, замыкания на землю, шаговое напряжение, дежурное освещение, стробоскопическая сигнализация.

Введение. Низкий уровень надежности и повышенный электротравматизм, в настоящее время, по-прежнему, являются одной из актуальных проблем для воздушных линий электропередачи (ВЛ) напряжением 10 кВ [1, 2]. Согласно статистики, наиболее частыми видами повреждений, на ВЛ 10 кВ, являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) и двойные замыкания на землю (ДЗЗ). Данные повреждения доставляют много трудностей персоналу оперативно-выездной бригады (ОВБ) и являются причиной электротравматизма, связанного с действием шагового напряжения и напряжения прикосновения. [3].

Цель работы. Основной целью работы являются анализ сложившейся проблемной ситуации и обоснование эффективного механизма для ее решения.

Согласно правил устройства электроустановок [4] электробезопасность ВЛ достигается наличием охранной зоны, предназначение которой заключается в том, чтобы минимизировать вероятное негативное влияние электромагнитного излучения на здоровье человека, а также предотвратить угрозу его жизнедеятельности вследствие электротравматизма. Учитывая вышеизложенное деятельность человека в охранной зоне ВЛ 10 кВ должна быть минимизирована, однако собственники земельных участков, попадающих в охранную зону ВЛ 10 кВ, имеют право использовать их для выращивания различных сельхоз культур, а также непрерывно осуществлять содержание, выпас или перегон сельскохозяйственных животных (коров, овец, лошадей и т.д.). Однако, они должны отдавать себе отчет в том, что:

- в случае возникновения аварии, на данном участке ВЛ 10 кВ, на территории его охранной зоны, персонал оперативно-выездной бригады (ОВБ) будет выполнять ремонтно-восстановительные работы,

с использованием спецтехники, что может привести к потере части урожая или иному материальному ущербу;

- если авария на ВЛ 10 кВ вызвана однофазным замыканием на землю (ОЗЗ), вследствие пробоя изолятора или обрыва провода, то для людей или животных, находящихся в охранной зоне аварийного участка ВЛ 10 кВ существует смертельная опасность электропоражения, вследствие действия шагового напряжения или напряжения прикосновения.

Необходимо отметить тот факт, что для персонала ОВБ, процесс поиска ОЗЗ на ВЛ 10 кВ, является не только сложным, но и весьма опасным видом работ. Сложность поиска ОЗЗ особенно усугубляется в условиях недостаточной видимости, например, в темное время суток и, или, при воздействии неблагоприятных погодных-климатических факторов, таких как дождь, туман, метель и др. [5].

При появлении ОЗЗ на одной из фаз ВЛ 10 кВ, напряжение на других неповреждённых фазах электрически связанной сети 10 кВ увеличивается относительно земли в $\sqrt{3}$ раз. Во время затянувшегося процесса отыскания ОЗЗ, возникает ДЗЗ в одной из неповрежденных фаз, как правило это происходит в наиболее ослабленном месте электрически связанной сети 10 кВ. При замыкании на землю двух разноименных фаз одной ВЛ 10 кВ, она отключается максимальной токовой защитой, реагирующей на ток ДЗЗ. При возникновении одновременного замыкания на землю двух разноименных фаз, разных ВЛ 10 кВ, в большинстве случаев, происходит автоматическое отключение только одной ВЛ 10 кВ с ОЗЗ, а другая ВЛ 10 кВ с ОЗЗ останется в работе. Описанный процесс может неоднократно повторяться, вследствие чего снижается надежность электроснабжения агропромышленных потребителей и повышается вероятность возникновения электротравматизма на потенциально-опасных участках ВЛ 10 кВ.

В настоящее время для ускорения процесса идентификации ОЗЗ и ДЗЗ для ВЛ 10 кВ специально разработаны подвесные указатели и индикаторы короткого замыкания разных модификаций [6,7,8]. Между тем, индикаторный режим работы данных устройств не позволяет эффективно сигнализировать повреждение элементов ВЛ 10 кВ в условиях недостаточной видимости, а также не позволяет их использовать для повышения электробезопасности ВЛ 10 кВ с ОЗЗ. На основании вышеизложенного, разработка простых, но вместе с тем эффективных способов и устройств, способных постоянно обеспечивать высокий уровень надежности и безопасности ЛЭП 10 кВ, имеет крайне важное значение, не только для распределительных электросетевых компаний, но и для предприятий агропромышленного

комплекса.

По мнению авторов данной публикации, наиболее простым и вместе с этим эффективным мероприятием в данной ситуации может являться установка на опорах ВЛ 10 кВ светотехнических приборов, обеспечивающих возможности световой стробоскопической сигнализации ОЗЗ и дежурного освещения потенциально опасных участков ВЛ 10 Кв. При этом ожидается, что это позволит в условиях недостаточной видимости в значительной степени повысить эффективность и безопасность процесса отыскания ОЗЗ персоналом ОВБ, а также обеспечить безопасность жизнедеятельности работников АПК, выполняющих различные технологические операции вблизи охранной зоны ВЛ 10 кВ (выпас и перегон скота, вспашка, посев, уборка урожая, и др.).

Рисунок 1 наглядно отображает работу дежурного освещения и световой стробоскопической сигнализации по обеспечению надежной и безопасной эксплуатацию ЛЭП 10 кВ.

Основными техническими требованиями, предъявляемыми к светотехническим приборам, устанавливаемых на опорах ВЛ 10 кВ, являются:

1. Величина направленного светового потока, формируемая светотехническим прибором, в режиме дежурного освещения, должна обеспечивать достаточный уровень освещенности потенциально опасной зоны ВЛ 10 кВ;

2. Величина яркости и частота пульсаций, формируемые светотехническим прибором, в режиме стробоскопической сигнализации, должны обеспечивать максимальный сигнализирующий эффект при возникновении ОЗЗ на ВЛ 10 кВ;

3. При повреждении изолятора на опоре ВЛ 10 кВ, установленный на ней светотехнический прибор должен автоматически активизироваться в работу в режиме стробоскопической сигнализации;

4. При обрыве провода между двумя опорами ВЛ 10 кВ, установленные на них светотехнические приборы, должны автоматически активизироваться в работу в режиме стробоскопической сигнализации;

5. При передвижении в потенциально опасной зоне ВЛ 10 кВ человека, животного или транспортного средства, должны автоматически активизироваться в работу, в режиме дежурного освещения, светотехнические приборы, установленные на ближайших опорах ВЛ 10 кВ, с обеспечением достаточной выдержки времени на отключение;

6. В случае производственной необходимости все светотехнические приборы, установленные на опорах ВЛ 10 кВ,

человека об потенциальной опасности электропоражения.

В качестве основного источника электропитания для светотехнического прибора и звукового извещателя, устанавливаемых на опоре ВЛ 10 кВ предполагается использовать электрохимический накопитель заряда. В качестве зарядного устройства для электрохимического накопителя заряда предлагается комплексно использовать фотоэлектрический преобразователь, систему бесконтактного емкостного отбора мощности от ВЛ 10 кВ, а также устройство преобразующее энергию токов ОЗЗ в стабилизированное низковольтное питающее напряжение.

Для централизованного, дистанционного управления светотехническими приборами на потенциально опасных участках ВЛ 10 кВ, например, там, где проводятся сезонные сельскохозяйственные работы, предполагается задействовать собственную инфраструктуру электрической сети, или доступные каналы радиосвязи.

Управление светотехническими приборами, установленными на опорах ВЛ 10 кВ, в случае производственной необходимости, может осуществляться персоналом ОВБ с использованием звукового сигнала автотранспортного средства ОВБ и, или, радиосигнала штатной радиостанции. Управляющие сигналы, формируемые во времени с определенной периодичностью и в определенном порядке, позволят персоналу ОВБ дистанционно осуществлять избирательное включение, выключение или переключение режимов работы каждого светотехнического прибора, установленного на опоре ВЛ 10 кВ в процессе поиска и ликвидации ОЗЗ. Необходимо отметить, что для реализации вышеизложенных алгоритмов управления каждый светотехнический прибор должен иметь блок управления.

Выводы. Применение дежурного освещения и стробоскопической световой сигнализации на потенциально опасных участках ВЛ 10 кВ, является более выгодной альтернативой чем применение различных указателей и индикаторов, особенно в условиях недостаточной видимости, т.к. стробоскопическое мерцание позволяет более эффективно идентифицировать ОЗЗ, а подсветка потенциально опасных участков ВЛ 10 кВ, не только делает более безопасной работу персонала ОВБ, но также повышает и безопасность работников агропромышленного комплекса, выполняющих свои трудовые функции вблизи ВЛ 10 кВ.

Таким образом, авторами данной публикации, предложено и обосновано простое, но вместе с тем весьма эффективное решение проблем аварийности и травматизма на ВЛ 10 кВ, которое позволит коренным образом изменить негативное отношение обывателей и специалистов к воздушным электрическим сетям с изолированной нейтралью.

Список используемой литературы

1. Глыбина Ю.Н. Анализ видов и количества повреждений в электрических сетях класса напряжения 6-10 кВ / Ю.Н. Глыбина, Р.П. Беликов, И.Н. Фомин // Агротехника и энергообеспечение. 2017. №3 (16). С. 43-49.
2. Астахов С.М. Состояние и пути повышения эффективности функционирования распределительных сетей в агропромышленном комплексе / С.М. Астахов, Р.П. Беликов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2011.Т. 29. № 2.С.106-108.
3. Чернышов В.А. Повышение электробезопасности и эффективности функционирования воздушных электрических сетей 6-10 кВ в густонаселенных сельскохозяйственных районах / В.А. Чернышов, Л.А. Чернышова // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. 2011. №3. С. 37-39.
4. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – М.: Изд-во ЕЦ «ЭНАС», 2013.
5. Чернышов В.А. Способ расширения автономности пилотирования дрона, осуществляющего мониторинг технического состояния воздушной линии электропередачи напряжением 6-10 кВ В.А. Чернышов, А.Е. Семенов, Е.А. Печагин // Вестник Орловского ГАУ. 2017. №2(65). С.114-119.
6. Пат. 2335053 РФ, МПК Н 02 Н 3/16. Регистратор протекания тока замыкания на землю для опор линии электропередачи / Чернышов В.А., Гавриченко А.И., Чернышова Л.А.; патентообладатель Орловский государственный аграрный университет. № 2007134938/09; заявл. 19.09.2007; опубл. 27.09.2008, Бюл. № 27. 5 с.
7. Пат. 2457595 РФ, МПК Н02Н003/16, G01R031/08. Регистратор величины тока замыкания на землю для опор линии электропередачи / Чернышов В.А. Чернышова Л.А.; патентообладатель Орловский государственный аграрный университет. № 2011117395/07; заявл. 29.04.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21. 7 с.
8. Тарасов К.В. Использование индикаторов короткого замыкания в распредсетях 6 – 10 кВ / К.В. Тарасов// Электроэнергия. Передача и распределение. –2014. – №4 (25). С. 73-74
9. Чернышов В.А. Обоснование целесообразности применения иммерсионной системы охлаждения в светодиодных светильниках агропромышленного назначения / В.А. Чернышов, М.В. Новиков // Вестник Воронежского ГАУ. – 2017. – №3.
10. Чернышов В.А. Обоснование комплексной целесообразности применения дежурного освещения и световой стробоскопической сигнализации на потенциально опасных участках ЛЭП 10 кВ/ В.А. Чернышов// Вестник аграрной науки. – 2018. - №2(71). – С.65-73.

PERSPECTIVES OF APPLYING EMERGENCY LIGHTING AND
LIGHT STROBE ALARM ON POTENTIALLY
DANGEROUS SECTIONS OF 10 kV POWER TRANSMISSION
LINES

V. A. Chernyshov, P.S Poliakov

Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher
Education «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin»,
Orel, Russia

Abstract. Recently, the low operation reliability and a high rate of electrical injuries are still very relevant problems for 10 kV overhead power transmission lines. According to the statistics, single phase-to-ground fault and double-ground fault are the most common types of damage on 10 kV power transmission lines. These damages cause many difficulties for the personnel of the emergency crew and are the cause of the electro-traumatic stress associated with the action of pace voltage and touch voltage. The process of finding a single phase-to-ground fault on the 10 kV power transmission lines is not only difficult, but also dangerous for the specialists of the emergency crew, especially at night-time and/or under unfavorable weather and climatic conditions. Currently, none of the technical devices used in 10 kV power lines in conditions of insufficient visibility can effectively alarm to the specialists about the place of a single phase-to-ground fault or double-ground fault and it cannot be used to improve electrical safety on the potentially dangerous sections of 10 kV power transmission lines. The installation of lighting devices on the 10 kV power transmission line supports can become the most efficient problem decision in such a situation. They will provide the light strobe signaling of a single phase-to-ground fault and emergency lighting on the potentially dangerous sections of 10 kV power transmission lines. Such measures will allow the specialists of the emergency crew to improve the efficiency and safety of the process of finding a single phase-to-ground fault and double-ground fault in conditions of insufficient visibility, and ensure the life safety of workers of the agro-industrial complex. These measures will radically change the negative attitude of the consumers and specialists to the power distribution network with isolated neutral and will allow to achieve a higher level of technical evolution. The article formulates the basic requirements to the lighting devices installed on the 10 kV power transmission line supports and touches upon their power supply and operating modes control.

Key words: electrical safety, power transmission lines, phase-to-ground fault, pace voltage, emergency lighting, stroboscopic alarm.

Vadim Alekseevich Chernyshov - Associate Professor of Electrical supply department of the Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russian Federation, tel. 89536132255, E-mail: blackseam78@mail.ru.

Pavel Sergeevich Poliakov - Master in the field of training 35.04.06 "Agroengineering", profile "Electrical equipment and electrotechnologies" Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russian Federation, tel. 89092309003, E-mail: licona0@mail.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА

О.Г. Широков, Т.В. Алферова, В.В. Бахмутская, И.Ю. Юрлов
УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г.Гомель Республика Беларусь

Аннотация. Статья посвящена исследованию влияния осветительных приборов со светодиодными и галогенными источниками света, предназначенных для сценического, театрального и постановочного освещения, праздничных мероприятий на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока. Определены значения показателей несинусоидальности напряжения и тока и выполнена оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания осветительных приборов со светодиодными и галогенными источниками света требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009), которая показала превышение норм по отдельным гармоническим составляющим тока, потребляемого светодиодными осветительными приборами.

Ключевые слова: показатели качества электрической энергии, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, суммарный коэффициент гармонических составляющих тока, осветительные приборы со светодиодными и галогенными источниками света.

Введение. В настоящее время повсеместно расширяется применение осветительных приборов со светодиодными и галогенными источниками света, используемыми в качестве фасадного, промышленного, магистрального и уличного освещения [1,2,3]. Однако, производители этого осветительного оборудования в технических характеристиках не указывают характер его влияния на качество электрической энергии и на соответствие требованиям нормативных документов, регламентирующих уровни электромагнитной совместимости. Снижение качества электроэнергии оказывает негативное влияние на работу электрооборудования, сокращая срок его службы, приводит к увеличению потерь напряжения и мощности в сети, уменьшению ее пропускной способности. В такой ситуации работы, направленные на оценку влияния осветительной нагрузки на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока являются актуальными.

Целью работы является оценка влияния осветительных

приборов со светодиодными и галогенными источниками света, предназначенных для сценического, театрального и постановочного освещения, на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока.

Основная часть. Оценка показателей несинусоидальности напряжения и тока, потребляемого осветительными приборами со светодиодными и галогенными источниками света, предназначенными для сценического, театрального и постановочного освещения.

В настоящее время измерения напряжения гармонических составляющих должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.7-2013 [6], однако, с учетом допущений, разрешаемых ГОСТ 32144-2013 [4] и ГОСТ 30804.4.30-2013 [5] (измерения класса В), некоторые задачи приборного контроля качества электрической энергии могут решаться с помощью существующих средств измерения параметров электрической энергии.

В данной работе оценивалось влияние на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока следующих осветительных приборов со светодиодными и галогенными источниками света, предназначенных для сценического, театрального и постановочного освещения:

- прожектор галогенный PG 500 Ultralight, мощностью 500 Вт;
- прожектор Swarm FX5, мощностью 66Вт;
- светодиодный прожектор Showtec Par 64 Short, RGB LED, мощностью 30 Вт;
- лазер Reke 91s, мощностью 30 Вт.

Значение показателей несинусоидальности напряжения и тока, потребляемого осветительными приборами, оценивалось на основании измерительной информации, полученной с помощью "Комплекса регистрации параметров электрических сигналов" (КРПЭС), подключенного по схеме, представленной на рисунке 1, где ТТ – измерительный трансформатор тока; ИПТ – измерительный преобразователь тока; ИПН – измерительный преобразователь напряжения; АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

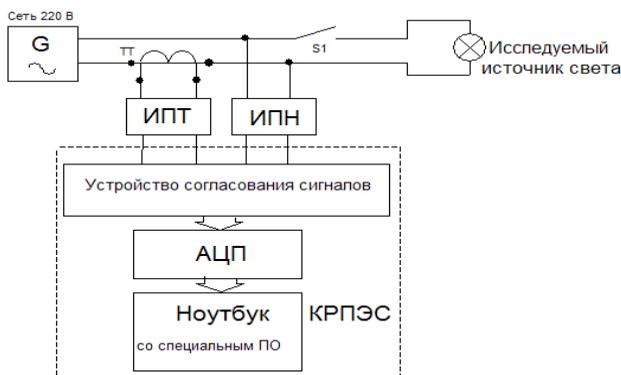


Рисунок 1 – Схема определения влияния осветительной нагрузки на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока

В соответствии с ГОСТ 30804.4.7-2013, суммарный коэффициент гармонических составляющих (total harmonic distortion, THD) THD_Y : отношение среднеквадратичного значения суммы всех гармонических составляющих $Y_{H,h}$ до порядка h_{max} к среднеквадратичному значению основной составляющей $Y_{H,1}$.

$$THD_Y = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} \left(\frac{Y_{H,h}}{Y_{H,1}} \right)^2} \quad (1)$$

При необходимости Y символ заменяют символом I для тока и символом U для напряжения, h_{max} принимают равным 40, если иное значение не установлено в международных стандартах, устанавливающих нормы эмиссии гармоник.

В соответствии с ГОСТ 30804.4.7-2013, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U рассчитывается по формуле

$$K_U = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{40}} \left(\frac{U_{H,h}}{U_{H,1}} \right)^2} \quad (2)$$

В соответствии с ГОСТ 30804.4.7-2013, суммарный коэффициент гармонических составляющих тока THD_I рассчитывается по формуле

$$THD_I = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{40}} \left(\frac{I_{H,h}}{I_{H,1}} \right)^2} \quad (3)$$

В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009) [7] световое оборудование по классификации технических средств (ТС) относится к классу С. В п.7.3 [7] регламентированы нормы гармонических составляющих тока для ТС класса С при активной потребляемой мощности, превышающей 25 Вт, которые не должны превышать значений, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы гармонических составляющих тока для ТС класса С

Порядок гармонической составляющей n	Максимальное допустимое значение гармонической составляющей тока, % от основной гармонической составляющей потребляемого тока
2	2
3	30·λ*
5	10
7	7
9	5
11 < n < 39 (только для нечетных гармонических составляющих)	3

* Коэффициент мощности цепи.

На рисунке 2 представлена осциллограмма напряжения и тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight.

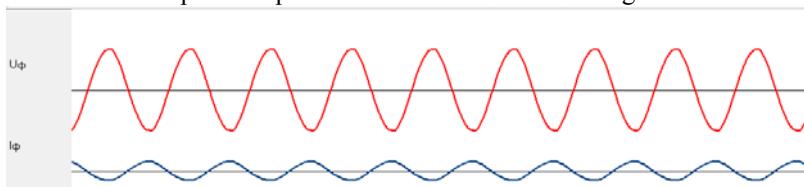


Рисунок 2 – Осциллограмма напряжения и тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight K_U , согласно формуле 2, составляет: $K_U = 0,03\%$.

В таблице 2 представлен спектр гармоник тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight

Таблица 2 – Спектр гармоник тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight

№	Спектр, о.е.	№	Спектр, о.е.	№	Спектр, о.е.
1	0,9894266	15	0,0000005	29	0,0000001
2	0,0000042	16	0,0000000	30	0,0000000
3	0,0004337	17	0,0000003	31	0,0000000
4	0,0000001	18	0,0000000	32	0,0000000
5	0,0000059	19	0,0000012	33	0,0000001
6	0,0000001	20	0,0000000	34	0,0000000
7	0,0000023	21	0,0000014	35	0,0000001
8	0,0000000	22	0,0000000	36	0,0000000
9	0,0000286	23	0,0000006	37	0,0000003
10	0,0000001	24	0,0000000	38	0,0000000
11	0,0000117	25	0,0000002	39	0,0000003
12	0,0000000	26	0,0000000	40	0,0000000
13	0,0000143	27	0,0000005		
14	0,0000001	28	0,0000000		

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight THD_I согласно формуле 3 составляет: $THD_I = 0,044\%$.

Оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009) показала, что гармонические составляющие тока, рассматриваемого ТС класса С не превышают установленных максимально допустимых значений.

На рисунке 3 представлена осциллограмма напряжения и тока в точке питания прожектора Swarm FX5.

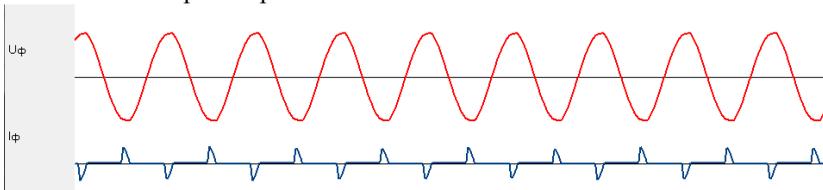


Рисунок 3 – Осциллограмма напряжения и тока в точке питания прожектора Swarm FX5

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания прожектора Swarm FX5 K_U , согласно

формуле 2, составляет: $K_U = 0,03\%$.

В таблице 3 и на рисунке 4 представлен спектр гармоник тока в точке питания проектора Swarm FX5.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока THD_I в точке питания проектора Swarm FX5 согласно формуле 3 составляет: $THD_I = 112,6\%$.

На рисунке 5 представлен график оценки соответствия высших гармоник тока в точке питания проектора Swarm FX5 требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009), который показывает, что 3, 5, 7, 9, 11 гармонические составляющие тока, рассматриваемого ТС класса С превышают установленные максимально допустимые значения.

Таблица 3 – Спектр гармоник тока в точке питания проектора Swarm FX5.

№	Спектр, о.е.	№	Спектр, о.е.	№	Спектр, о.е.
1	0,259144	15	0,003582	29	0,000781
2	0,000231	16	0,000034	30	0,000000
3	0,236504	17	0,004396	31	0,000643
4	0,000172	18	0,000014	32	0,000000
5	0,129452	19	0,004283	33	0,000279
6	0,000131	20	0,000013	34	0,000000
7	0,098613	21	0,002746	35	0,000045
8	0,000055	22	0,000010	36	0,000000
9	0,048034	23	0,000972	37	0,000025
10	0,000082	24	0,000006	38	0,000000
11	0,018299	25	0,000344	39	0,000109
12	0,000023	26	0,000005	40	0,000000
13	0,005869	27	0,000555		
14	0,000021	28	0,000005		

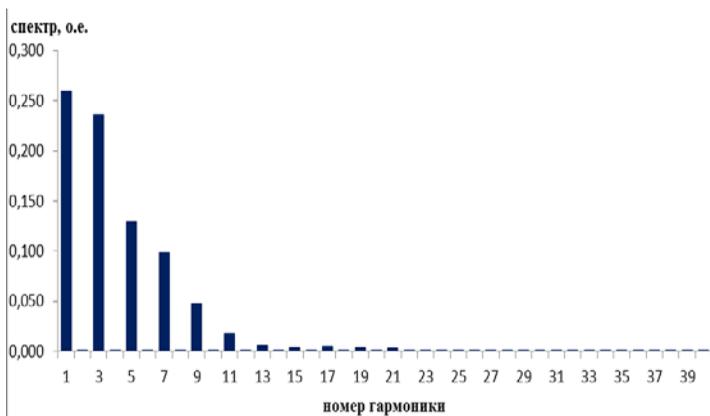


Рисунок 4 – Спектр гармоник тока в точке питания прожектора Swarm FX5

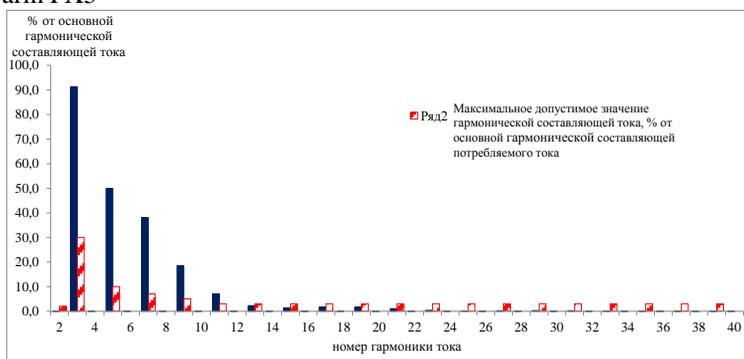


Рисунок 5 – Оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания прожектора Swarm FX5 требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009)

На рисунке 6 представлена осциллограмма напряжения и тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED.

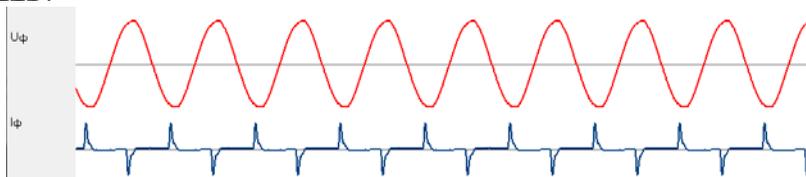


Рисунок 6 – Осциллограмма напряжения и тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED

Суммарный коэффициент гармонических составляющих

напряжения в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED K_U , согласно формуле 2, составляет: $K_U = 0,03\%$.

В таблице 4 и на рисунке 7 представлен спектр гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED.

Таблица 6 –Спектр гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED.

№	Спектр, о.е.	№	Спектр, о.е.	№	Спектр, о.е.
1	0,259144	15	0,003582	29	0,000781
2	0,000231	16	0,000034	30	0,000000
3	0,236504	17	0,004396	31	0,000643
4	0,000172	18	0,000014	32	0,000000
5	0,129452	19	0,004283	33	0,000279
6	0,000131	20	0,000013	34	0,000000
7	0,098613	21	0,002746	35	0,000045
8	0,000055	22	0,000010	36	0,000000
9	0,048034	23	0,000972	37	0,000025
10	0,000082	24	0,000006	38	0,000000
11	0,018299	25	0,000344	39	0,000109
12	0,000023	26	0,000005	40	0,000000
13	0,005869	27	0,000555		
14	0,000021	28	0,000005		

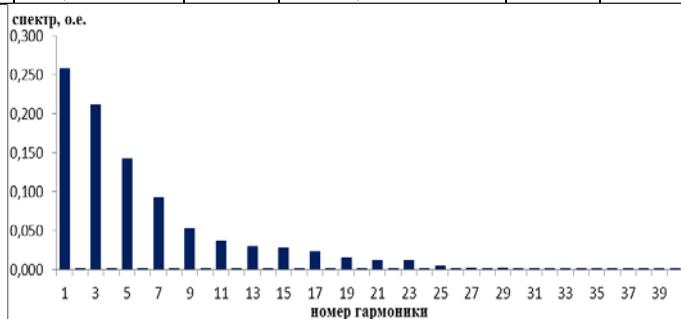


Рисунок 7 – Спектр гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока THD_I в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED согласно формуле 3 составляет: $THD_I = 110,15\%$.

На рисунке 8 представлен график оценки соответствия высших гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009), который показывает, что 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 гармонические составляющие тока, рассматриваемого ТС класса С превышают установленные максимально допустимые значения.

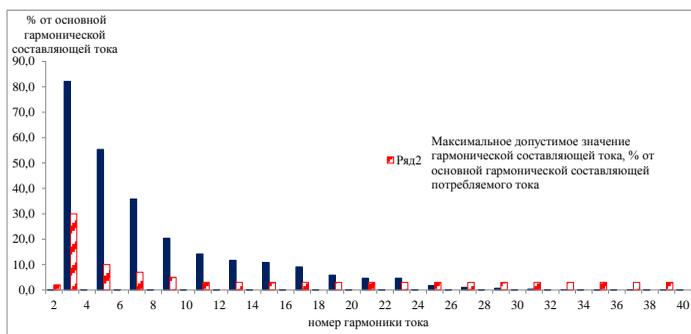


Рисунок 8 – Оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009)

На рисунке 9 представлена осциллограмма напряжения и тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S".

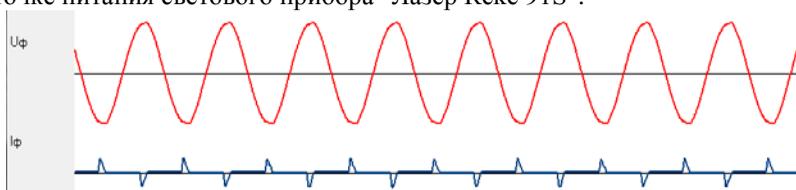


Рисунок 9 – Осциллограмма напряжения и тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S"

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S" K_U , согласно формуле 2, составляет: $K_U = 0,03\%$.

В таблице 5 и на рисунке 10 представлен спектр гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S".

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока THD_I в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S" согласно формуле 3 составляет: $THD_I = 113,01\%$.

Таблица 5 –Спектр гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S".

№	Спектр, о.е.	№	Спектр, о.е.	№	Спектр, о.е.
1	0,2634530	15	0,0098539	29	0,0004922
2	0,0000683	16	0,0000949	30	0,0000081
3	0,2139534	17	0,0076428	31	0,0004063
4	0,0000378	18	0,0000828	32	0,0000061
5	0,1630188	19	0,0065033	33	0,0003432
6	0,0000624	20	0,0000630	34	0,0000035
7	0,1043139	21	0,0052887	35	0,0002324
8	0,0000330	22	0,0000413	36	0,0000032
9	0,0619806	23	0,0034013	37	0,0000556
10	0,0000966	24	0,0000213	38	0,0000042
11	0,0326433	25	0,0016826	39	0,0000152
12	0,0001016	26	0,0000122	40	0,0000026
13	0,0160065	27	0,0008790		
14	0,0001078	28	0,0000071		

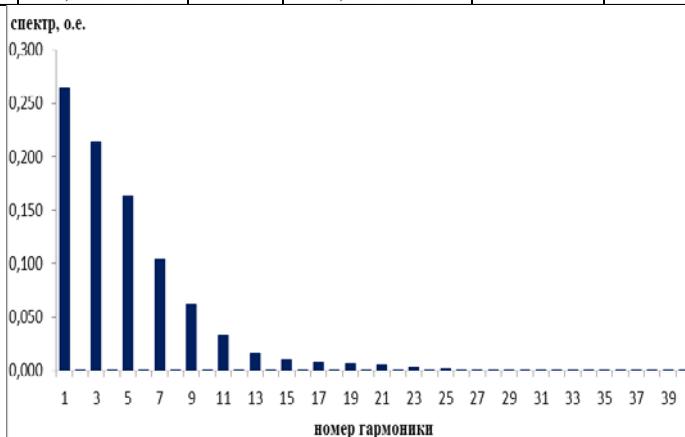


Рисунок 10 – Спектр гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S"

На рисунке 11 представлен график оценки соответствия высших гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S" требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009), который показывает, что 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 гармонические составляющие тока,

рассматриваемого ТС класса С превышают установленные максимально допустимые значения.

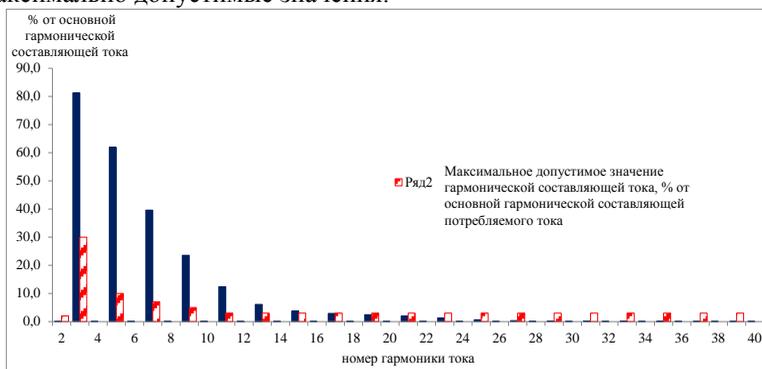


Рисунок 11 – Оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S" требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009)

Выводы. Влияние прожектора галогенного PG 500 Ultralight, мощностью 500 Вт на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока крайне незначительны, поскольку суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока и напряжения составили соответственно $THD_I = 0,044\%$ и $K_U = 0,03\%$.

Гармонические составляющие тока, потребляемого проектором Swarm FX5, светодиодным прожектором Showtec Par 64 Short, RGB LED, лазером Reke 91s превышают установленные ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009) максимально допустимые значения для технических средств класса С при активной потребляемой мощности, превышающей 25 Вт. При этом, суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока THD_I , потребляемого указанными источниками, соответственно составляют $THD_I = 112,6\%$, $110,15\%$, $113,01\%$. При этом, влияние на кривую напряжения в точке питания этих световых приборов практически отсутствует, поскольку суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения $K_U = 0,03\%$. Тем не менее, в случае достаточного увеличения доли таких электроприемников, следует ожидать заметного их влияния на несинусоидальность напряжения.

Список использованных источников:

1. Закгейм, А.А. Светодиодные системы освещения: эффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор)/ А.Л. Закгейм // Светотехника.–2012. – № 6.– С.12-20.
2. Радкевич В.Н. Электрическое освещение: справочник / В.Н.

Радкевич, В.Б. Козловская, В.Н. Сацукевич. – Минск: Технперспектива, 2007. - 225 с.

3 Журавкин, А.Ш. Руководство по устройству электроустановок / А.Ш. Журавкин, // Технические решения Schneider Electric.–2013.-№1 – С. 1-77.

4. ГОСТ 32144- 2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ). Госстандарт Республики Беларусь. 2015.

5. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. Госстандарт Республики Беларусь. 2014.

6. ГОСТ 30804.4.7-2013 (IEC 61000-4-7:2009) Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. Госстандарт Республики Беларусь. 2014.

7. Межгосударственный стандарт ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009) Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. (IEC 61000-3-2:2009, MOD) Москва, Стандартинформ, 2014.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LIGHTING LOAD ON THE INDICES OF NON-SINUSOIDAL VOLTAGE AND CONSUMED CURRENT

O. G. Shirokov, T. V. Alferova, V. V. Bakhmutskaya, I. Yu. Yurlov

EE "Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy ", Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The article is devoted to the study of the influence of lighting devices with LED and halogen light sources intended for stage, theater and stage lighting, festive events on the indices of non-sinusoidal voltage and current consumption. The values of non-sinusoidal voltage and

current indices are determined and the conformity of the highest current harmonics at the power supply point of the lighting devices with LED and halogen light sources to the requirements of GOST30804 is estimated.3.2-2013 (IEC 61000-3-2:2009), which showed the excess of the norms for individual harmonic components of the current consumed by led lighting devices.

Keywords: power quality indices, total coefficient of voltage harmonic components, total coefficient of current harmonic components, lighting devices with LED and halogen light sources.

**ОЦЕНКА УРОВНЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК
НАПРЯЖЕНИЯ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЧАСТОТНОГО
ПРИВОДА ALTIVAR 61**

О.Г. Широков, Т.В. Алферова, О.С. Шведова,
А.А. Скулимовский

УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г.Гомель Республика Беларусь

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния частотных приводов и их входных фильтров на количество и значение коэффициентов гармонических составляющих напряжения цеховой системы электроснабжения филиала «Гомельский комбинат хлебопродуктов» на примере электропривода Altivar 61, работающего в системе электроснабжения приточной вентиляции сортовой мельницы. Проведена оценка соответствия показателей качества электроэнергии требованиям ГОСТ 32144-2013 в сети электропривода Altivar 61. Измерены и оценены значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения в рассматриваемой сети до включения электропривода Altivar 61, при его работе без входного фильтра и с входным фильтром Altivar 31/Lexium 05. Показано, что влияние фильтра Altivar 31/Lexium 05 неоднозначно, поскольку может, как снижать значение некоторых высших гармонических составляющих напряжения, так и увеличивать.

Ключевые слова: показатели качества электрической энергии, одномерные коэффициенты гармонических составляющих напряжения, частотный привод.

Введение. В настоящее время в системах электроснабжения предприятий практически всех отраслей расширяется применение частотных преобразователей, предназначенных для управления режимами работы асинхронных двигателей, в том числе и для снижения их энергопотребления. Частотный привод является одним из распространенных типов регулируемого электропривода. Регулирование частоты вращения в этом случае осуществляется при помощи тиристорных преобразователей частоты, которые могут быть выполнены в виде автономных инверторов, осуществляющих преобразование постоянного тока в переменный и преобразователей с непосредственной связью, преобразующих переменный ток одной

частоты в ток другой частоты посредством переключения встречно-параллельно соединенных силовых вентилях. Частотные преобразователи (частотный привод ПЧ) являются в целом полезными устройствами, способными облегчить режимы пуска и работы асинхронных двигателей, но, вместе с тем, являясь нелинейной нагрузкой, генерируют в питающую электрическую сеть гармонические помехи [1,2]. Последние оказывают вредное воздействие на элементы систем электроснабжения и электроприемники, получающие питание от этой сети. Для снижения уровня генерации гармонических помех в питающую электрическую сеть при работе частотного привода применяют входные фильтры, к которым относятся сетевые дроссели и ЭМИ-фильтры (РЧ-фильтры)[3,4]. Предполагается, что при выполнении соответствующих рекомендаций входные фильтры способны снижать содержание высших гармоник в питающей сети.

Целью работы является оценка влияния работы частотного привода ALTIVAR 61 на уровень высших гармоник напряжения в питающей электрической сети.

Основная часть. Оценка показателей качества электроэнергии и уровня высших гармоник напряжения в электрической сети до включения частотного привода Altivar 61.

В настоящее время измерения напряжения гармонических составляющих U_n должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.7-2013 [7], однако, с учетом допущений, разрешаемых ГОСТ 32144-2013 [5] и ГОСТ 30804.4.30-2013 [6] (измерения класса В), задачи приборного контроля качества электрической энергии (проверка соответствия фактических значений параметров электроэнергии на границах раздела балансовой принадлежности сетей (ГРБП) установленным нормам, выявление виновника ухудшения качества электроэнергии) могут решаться с помощью выпускаемого в РБ прибора УК1.

Устройство контроля параметров качества электрической энергии УК1 (ТУ РБ 100230547.012-2002) представляет собой высокоточный измерительный прибор, построенный на основе современных цифровых технологий. Устройство устанавливается на энергообъектах и осуществляет сбор, обработку и хранение информации о параметрах качества электрической энергии.

Устройство УК1 внесено в Государственный реестр средств измерений РБ под № РБ 03 13 1654 02 и имеет соответствующий сертификат.

Местом проведения измерения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) являлись выводы Уном=0,4 кВ линии сортовой

мельницы филиала «Гомельский комбинат хлебопродуктов» ОАО «Гомельхлебопродукт».

Результаты измерений ПКЭ прибором УК1 выводятся на печать в виде протоколов измерений показателей качества электроэнергии и, при необходимости, в виде дополнений к протоколу измерений показателей качества электроэнергии с графиком изменения измеряемой величины и гистограммой ее распределения.

На рисунке 1 представлена схема подключения прибора УК1 к выводам электропривода Altivar 61, работающего в системе электроснабжения приточной вентиляции сортовой мельницы.

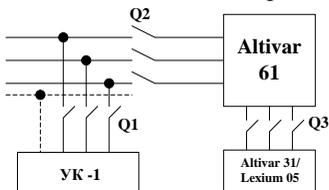


Рисунок 1 – Схема подключения прибора УК1 к выводам электропривода Altivar 61, работающего в системе электроснабжения приточной вентиляции сортовой мельницы

Результаты измерений показателей качества электрической энергии, кроме коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}, \%$, в электрической сети, питающей приточную вентиляцию сортовой мельницы, на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что значения представленных показателей качества электроэнергии не превышают уровни, установленные ГОСТ 32144-2013.

В таблице 2 представлены значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу.

Согласно данным таблицы 2 на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу коэффициенты гармонических составляющих напряжения фаз А, В и С не превышают значений, установленных ГОСТ 32144-2013 для электрических сетей с номинальным напряжением 0,38 кВ. При этом присутствуют как нечетные, так и четные гармоники напряжения (2 и 4 порядка), а также гармоники, кратные трем (3,9,15). Наивысшей гармоникой напряжения по фазе А является 15, а по фазам В и С - 17. Кроме того, значения одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения не одинаковы по фазам.

Таблица 1 – Значения показателей качества электрической энергии электрической сети, питающей приточную вентиляцию сортовой мельницы, на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу

Положительное отклонение напряжения электропитания, %								
Канал/ Показатель	НДН	ПДН	Средн.	СКО	MIN	MAX	Тн, %	Тп, %
А		+10.00	6.43	0.51	5.15	7.10	100	0
В		+10.00	6.29	0.41	5.53	7.03	100	0
С		+10.00	5.51	0.44	4.45	6.31	90	0
Отклонение частоты, Гц								
	+ -0.20	+ -0.40	-0.00	0.01	-0.03	0.02	0	0
Суммарные коэффициенты гармонических составляющих напряжения, %								
А	8.00	12.00	4.31	0.10	4.01	4.57	0	0
В	8.00	12.00	5.15	0.13	4.63	5.48	0	0
С	8.00	12.00	4.99	0.15	4.61	5.46	0	0
Коэффициенты несимметрии, %								
K _{2u}	2.00	4.00	0.35	0.03	0.24	0.48	0	0
K _{0u}	2.00	4.00	0.96	0.35	0.24	1.93	0	0
Кратковременная доза доза фликера, отн. ед.								
А		1.38	0.35	0.03	0.30	0.39		0
В		1.38	0.27	0.06	0.15	0.32		0
С		1.38	0.29	0.06	0.18	0.34		0
Длительная доза доза фликера, отн. ед.								
А		1.00	0.12	0.12	0.00	0.28		0
В		1.00	0.09	0.09	0.00	0.21		0
С		1.00	0.11	0.10	0.00	0.23		0

В соответствии со схемой подключения прибора УК-1, представленной на рисунке 1, были выполнены измерения коэффициентов гармонических составляющих напряжения в электрической сети при работе частотного привода Altivar 61 без входного фильтра и с входным фильтром Altivar 31/Lexium 05.

Таблица 2 - Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, % на выводах частотного привода

Altivar 61 до его включения в работу

n	НДН	ПДН	$K_{U(n)}$ фазы А, %			$K_{U(n)}$ фазы В, %			$K_{U(n)}$ фазы С, %		
			Сред.	СКО	MAX	Сред.	СКО	MAX	Сред.	СКО	MAX
2	2.00	3.00	0.04	0.07	0.20	0.05	0.07	0.20	0.06	0.07	0.20
3	5.00	7.50	1.93	0.08	2.08	2.17	0.08	2.35	1.58	0.09	1.73
4	1.00	1.50	0.02	0.04	0.10	0.04	0.06	0.17	0.02	0.04	0.10
5	6.00	9.00	3.52	0.10	3.75	4.41	0.13	4.64	4.51	0.14	4.80
6	0.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	5.00	7.50	0.40	0.05	0.45	0.34	0.04	0.42	0.55	0.04	0.63
8	0.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	1.50	2.25	1.23	0.04	1.30	1.11	0.03	1.17	1.22	0.04	1.28
10	0.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	3.50	5.25	0.77	0.04	0.83	0.89	0.03	0.97	0.22	0.02	0.26
12	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	3.00	4.50	0.35	0.03	0.40	0.35	0.04	0.39	0.35	0.02	0.39
14	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.30	0.45	0.16	0.02	0.20	0.19	0.02	0.22	0.16	0.02	0.20
16	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	2.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.02	0.14	0.10	0.04	0.14
18	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	1.50	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	1.50	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	1.50	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	1.32	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	1.25	1.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	1.13	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	1.08	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.20	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

На рисунках 2, 3, 4 представлены диаграммы измеренных значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ в фазах А, В и С соответственно на выводах частотного привода

Altivar 61 до его включения в работу, при работе частотного привода Altivar 61 без входного фильтра и при работе частотного привода Altivar 61 с входным фильтром Altivar 31/Lexium 05.

Согласно диаграммам рисунков 2, 3 и 4 на выводах частотного привода Altivar 61 до его включения в работу коэффициенты гармонических составляющих напряжения фаз А, В и С не превышают нормальных и предельных значений, установленных ГОСТ 32144-2013 для электрических сетей с номинальным напряжением 0,38 кВ. При этом присутствуют как нечетные, так и четные гармоники напряжения (2 и 4 порядка), а также гармоники кратные трем (3,9,15). Наивысшей гармоникой напряжения по фазе А является 15, а по фазам В и С - 17. Кроме того, значения одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения не одинаковы по фазам.

Согласно диаграммам рисунков 2, 3 и 4 на выводах частотного привода Altivar 61 при его работе без фильтра Altivar 31/Lexium 05 коэффициенты гармонических составляющих напряжения фаз А, В и С не превышают нормальных и предельных значений, установленных ГОСТ 32144-2013 для электрических сетей с номинальным напряжением 0,38 кВ. При этом присутствуют как нечетные, так и четные гармоники напряжения (2 и 4 порядка), а также гармоники, кратные трем (3,9,15). Наивысшей гармоникой напряжения по фазе А является 25, по фазе В - 17. а по фазе С - 19. Кроме того, значения одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения не одинаковы по фазам.

Согласно диаграммам на рисунках 2, 3 и 4 на выводах частотного привода Altivar 61 при его работе с фильтром Altivar 31/Lexium 05 коэффициенты гармонических составляющих напряжения фаз А, В и С не превышают нормальных и предельных значений, установленных ГОСТ 32144-2013 для электрических сетей с номинальным напряжением 0,38 кВ. При этом присутствуют как нечетные, так и четные гармоники напряжения (2 порядка в фазах А, С и 2 и 4 порядка в фазе В), а также гармоники, кратные трем (3,9,15). Наивысшей гармоникой напряжения по фазам А и В является 17, а по фазе С - 19. Кроме того, значения одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения не одинаковы по фазам.

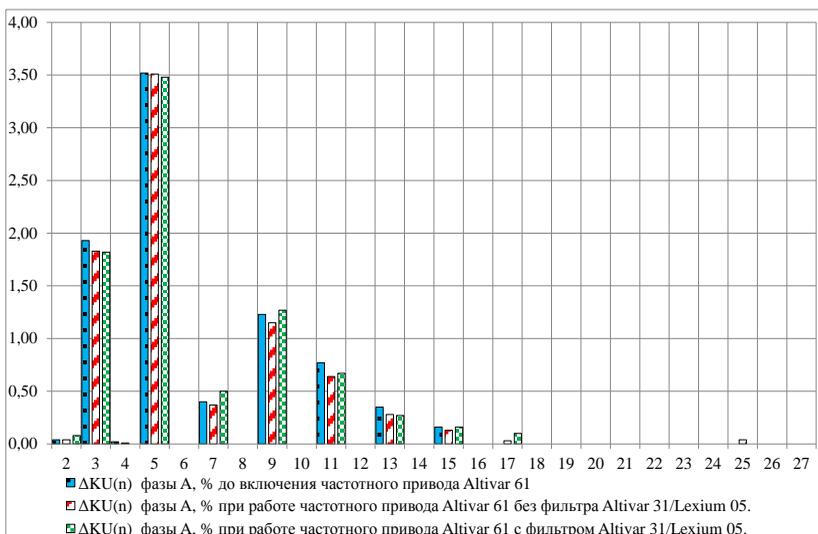


Рисунок 2 – Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения фазы А ($K_{U(n)A, \%}$) на выводах частотного привода Altivar 61

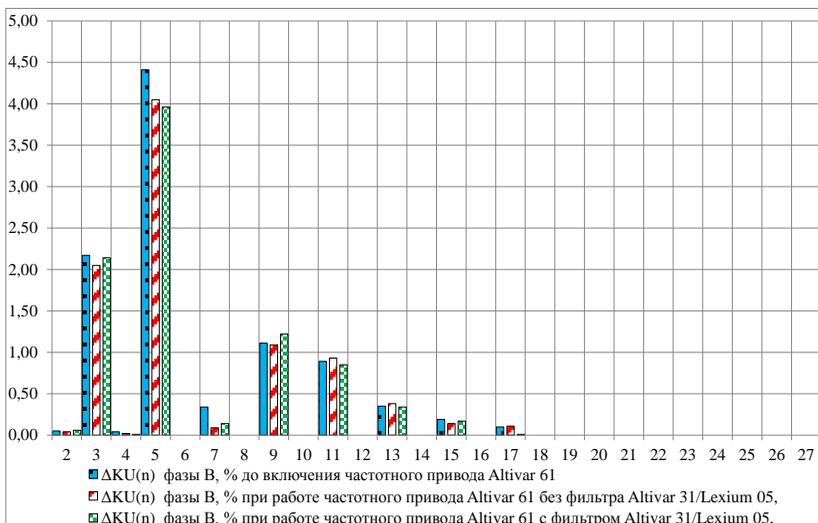


Рисунок 3 – Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения фазы В ($K_{U(n)B, \%}$) на выводах частотного привода Altivar 61

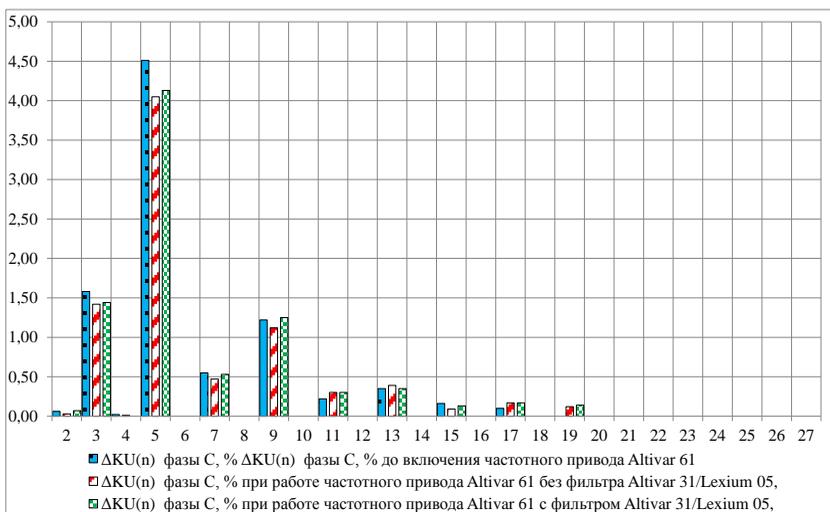


Рисунок 4 – Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения фазы С ($K_{U(n)C, \%}$) на выводах частотного привода Altivar 61

Согласно диаграммам (рисунок 4) на выводах частотного привода Altivar 61 при его включении в работу без фильтра Altivar 31/Lexium 05 произошло как изменение значений, так и количества коэффициентов гармонических составляющих напряжения по сравнению с режимом до включения привода. При этом в фазе А произошло снижение значений восьми коэффициентов гармонических составляющих напряжения (3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15 – порядка), коэффициент 2-гармонической составляющей напряжения не изменился, возникли коэффициенты семнадцатой и двадцать пятой гармонических составляющих напряжения. В фазе В произошло снижение значений семи коэффициентов гармонических составляющих напряжения (2, 3, 4, 5, 7, 9, 15 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 11, 13 и 17 гармонических составляющих напряжения. В фазе С произошло снижение значений семи коэффициентов гармонических составляющих напряжения (2, 3, 4, 5, 7, 9, 15 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 11, 13 и 17 гармонических составляющих напряжения, возник коэффициент 19 гармонической составляющей напряжения.

Кроме того, изменение значений одномерных коэффициентов гармонических составляющих напряжения при включении в работу привода Altivar 61 без фильтра Altivar 31/Lexium 05 по сравнению с режимом до включения привода не одинаковы по фазам.

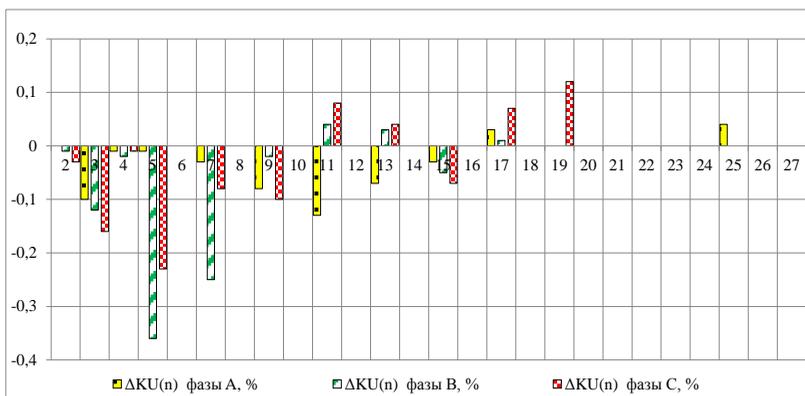


Рисунок 5 – Диаграмма разности значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения $\Delta K_{U(n)}$ на выводах частотного привода Altivar 61 до и после включения его в работу

На рисунке 5 представлены диаграммы разности значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения $\Delta K_{U(n)}$ на выводах частотного привода Altivar 61 до и после включения в работу фильтра Altivar 31/Lexium 05.

Согласно диаграммам рисунка 5 на выводах частотного привода Altivar 61 до и после включения в работу фильтра Altivar 31/Lexium 05 произошло как изменение значений, так и количества коэффициентов гармонических составляющих напряжения. При этом в фазе А произошло снижение значений пяти коэффициентов гармонических составляющих напряжения (3, 4, 5, 13, 25 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 2, 7, 9, 11, 15 и 17 гармонических составляющих напряжения. В фазе В произошло снижение значений пяти коэффициентов гармонических составляющих напряжения (4, 5, 11, 13, 17 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 2, 3, 7, 9, 15 гармонических составляющих напряжения. В фазе С произошло снижение значений трех коэффициентов гармонических составляющих напряжения (4, 5, 13 – порядка) и увеличение значений коэффициентов 2, 3, 4, 7, 9, 15 и 19 гармонических составляющих напряжения.

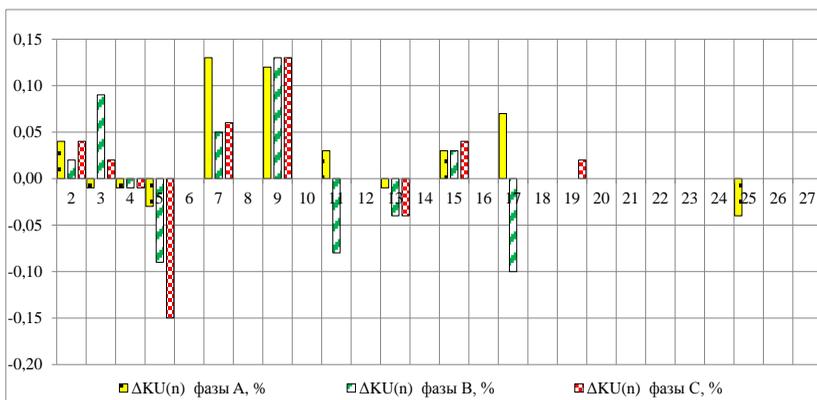


Рисунок 6 – Диаграмма разности значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения $\Delta K_{U(n)}$ на выводах частотного привода Altivar 61 до и после включения в работу фильтра Altivar 31/Lexium 05

Таким образом, включение частотного привода Altivar 61 в работу без фильтра Altivar 31/ Lexium 05 приводит как к изменению значений, так и количества коэффициентов гармонических составляющих напряжения по сравнению с режимом до включения привода. При этом может происходить как снижение, так и увеличение значений коэффициентов гармонических составляющих напряжения, а также генерация новых гармонических составляющих напряжения, при этом значение некоторых коэффициентов гармонических составляющих напряжения может не изменяться. Такое воздействие частотного привода Altivar 61 на количество и уровень гармоник напряжения может зависеть от сочетания различных режимов регулирования частотных приводов, работающих в общей электрической сети.

Выводы. Влияние фильтра Altivar 31/ Lexium 05 при работе частотного привода Altivar 61 на количество и уровень гармоник напряжения в электрической сети неоднозначно, поскольку включение фильтра при снижении гармоник напряжения 25, 13, 5, 4 порядка, увеличило гармоники напряжения 19, 15, 9, 7, 2-го порядка. При этом гармонические составляющие 17, 11 и 3 порядка в разных фазах или усиливались или подавлялись. Такое положение свидетельствует о некорректной настройке и работе фильтра и является поводом для включения в дальнейшем в рамках приемо-сдаточных испытаний проведения измерений, направленных на определение эффективности применения фильтра.

Список использованных источников:

1. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 330 с.
2. Влияние нелинейной нагрузки на качество электроэнергии / Наумкин И.Б., Паскарь И.Н., Завьялов В.М. // Электротехника.–2015.– С.76-78.
3. Кравцов, А.В. Качество электроэнергии в системах электроснабжения/ Фильтры гармоник/ А.В. Кравцов [Электрон. ресурс]. –2004. –Режим доступа <http://khomovelectro.ru/filtry-garmonik/aktivnyy-filtr-garmonik.html> 18.04.2018.
4. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / И.В. Жежеленко [и др.]– М.: Энергоатомиздат, 2007.–296с.
5. ГОСТ 32144- 2013. Электрическая энергия Совместимость технических средств электромагнитная Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ). Госстандарт Республики Беларусь. 2015 г.
6. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. Госстандарт Республики Беларусь. 2014 г.
7. ГОСТ 30804.4.7-2013 (IEC 61000-4-7:2009) Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. Госстандарт Республики Беларусь. 2014 г.

THE LEVEL ASSESSMENT OF VOLTAGE HIGHER HARMONICS IN THE ELECTRICAL NETWORK DURING THE OPERATING OF FREQUENCY DRIVE ALTIVAR 61

O. G. Shirokov, T. V. Alferov, O. S. Shvedova, A. A. Skulimowski

EE "Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy", Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The results of the study of the influence of frequency drives and their input filters on the number and value of the harmonic coefficients of voltage of the shop power supply system of the branch "Gomel bakery" on the example of the electric drive Altivar 61, operating in

the supply system for supply ventilation of a sorting mill are presented. The conformity of the power quality indicators to the requirements of GOST 32144-2013 in the Altivar 61 electric drive network was evaluated. The values of the harmonic components of the voltage in the network in question were measured and evaluated before the Altivar 61 drive was switched on, without the input filter and with the Altivar 31 / Lexium 05 input filter. It is shown that the effect of the Altivar 31 / Lexium 05 filter is ambiguous, since it can both increase the value of some higher harmonic voltage components and increase it.

Key words: power quality indices, one-dimensional coefficients of voltage harmonic components, frequency drive.

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКРЫТЫХ
ПРОВОДОВ НА ЛИНИЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ**

О.Ю. Пухальская, К.М. Медведев
УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения надёжности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения. Приводится анализ применения покрытых проводов на воздушных линиях напряжением 10 кВ в сравнении с голыми проводами с точки зрения повышения надёжности. Выполнены расчёт и оценка степени снижения количества внезапных отключений на участках воздушных линий с покрытыми проводами, проложенных по территории лесных массивов, в сравнении с участками линий с голыми проводами. Замена голых проводов на покрытые на участках ВЛ 10 кВ, проходящих через лес, позволяет уменьшить количество внезапных отключений линии, и, следовательно, повысить надёжность электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения. Степень снижения аварийности зависит от процентного соотношения длин участков ВЛ, выполненных в виде ВЛП, и всей линии.

Ключевые слова. Надёжность электроснабжения, воздушные линии, покрытые провода, количество отключений.

Введение. Надёжность электроснабжения – это способность электрической системы в любой момент времени обеспечивать присоединённых к ней потребителей электрической энергией в требуемых количествах и необходимого качества.

Потребители сельскохозяйственного назначения в современных условиях предъявляют к надёжности электроснабжения обоснованные повышенные требования, и эти требования необходимо удовлетворять за счёт внедрения соответствующих мероприятий.

Основной целью мероприятий по повышению надёжности электроснабжения является снижение количества отключений потребителей, среднего времени восстановления электроснабжения и ущерба от недоотпуска при перерывах в подаче электроэнергии.

Одним из таких мероприятий является использование на воздушных линиях (ВЛ) напряжением 10 кВ покрытых проводов. Такие линии являются самым ненадёжным элементом цепи «источник-

потребитель», поскольку на их долю приходится порядка 70% общего числа отключений [1]. Это связано с большой протяжённостью линий и, в некоторых случаях, условиями их прохождения через лесные массивы.

Целью исследований является оценка эффективности применения на ВЛ напряжением 10 кВ покрытых проводов с точки зрения повышения надёжности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

Основная часть. Мероприятия по повышению надёжности электроснабжения можно разделить на две группы – технические и организационно-технические [2, 3] (рисунок 1).

Технические мероприятия и средства повышения надёжности электроснабжения потребителей требуют дополнительных капиталовложений на развитие схем электроснабжения и обновление электрооборудования.

Организационно-технические мероприятия не требуют дополнительных капиталовложений, так как связаны с квалифицированным управлением и рациональной организацией работ эксплуатирующих и обслуживающих организаций.



Рисунок 1 – Классификация мероприятий по повышению надёжности электроснабжения потребителей

Изменение климатических условий в Республике Беларусь, произошедшие с 1989 года, вызвали значительный рост механических

нагрузок на ВЛ от давления ветра и гололёдных образований на проводах, опорах и элементах линейной арматуры [4].

Климатические аномалии, связанные с ростом интенсивности и частоты возникновения гололёдных явлений и сильных ветров, в настоящее время являются причиной от 80% до 90% общего числа повреждений ВЛ, которое также зависит от качества строительно-монтажных и ремонтных работ на ВЛ, применяемых узлов, деталей и материалов, грамотности проектных решений [4].

Согласно [5], ВЛ напряжением 10 кВ, проходящие по землям лесного фонда и населённым пунктам, следует выполнять с применением покрытых проводов (линии ВЛП), а на территориях II района по гололеду и выше использовать ВЛП рекомендуется. При новом строительстве или реконструкции в лесных массивах и зеленых насаждениях следует также применять ВЛП.

Преимуществами ВЛП по сравнению с традиционными ВЛ с неизолированными проводами являются [2, 4, 6]:

- существенное уменьшение междуфазных коротких замыканий и замыканий на землю;
- повышение надежности работы при образовании гололёда;
- уменьшение требуемой ширины просеки в лесных массивах;
- повышение электробезопасности, т.к. снижается риск поражения электрическим током эксплуатационного персонала и населения;
- уменьшение габаритов до земли и инженерных сооружений;
- сокращение эксплуатационных расходов;
- несколько меньшее реактивное сопротивление линий.

Расчёт количества внезапных отключений потребителя N_{10} из-за повреждений на питающей его ВЛ 10 кВ выполняется по методике, изложенной в [7]. В формуле для расчёта количества повреждений ВЛ 10 кВ детально учитывается состав и повреждаемость элементов линии.

В качестве исходной информации о распределительной сети 10 кВ приняты:

- схемы ВЛ с обозначением длин участков, марки и сечения проводов, трансформаторных подстанций (ТП) с диспетчерским номером и установленной мощностью, коммутационных аппаратов с диспетчерскими номерами, точек нормального токораздела;
- паспортные данные ВЛ 10 кВ – сведения о количестве элементов различных видов на линии (рисунок 2).

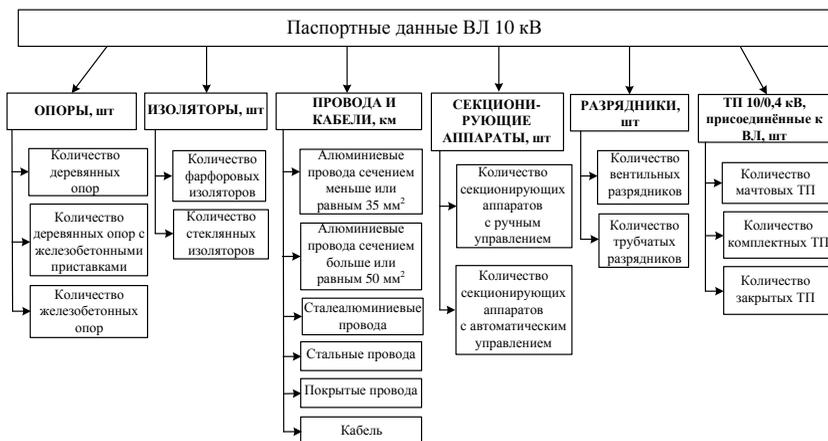


Рисунок 2 – Паспортные данные ВЛ напряжением 10 кВ

В случае, когда ВЛ 10 кВ выполнена с применением покрытых проводов, можно использовать статистические данные для распределительных сетей 10 кВ, собранные ОАО «Фирма ОРГРЭС» [8]. Полученное по методике, изложенной в [7], количество внезапных отключений N_{10} пересчитывается по следующей формуле:

$$N'_{10} = \frac{L_{ам} + L_{аб} + L_{ас} + L_{ст} + L_{к}}{L} N_{10} + \frac{L_{ВЛП}}{L} \frac{N_{10}}{5,14},$$

где $L_{ам}$ – протяженность участков ВЛ 10 кВ, выполненных алюминиевыми проводами сечением 35 мм² и ниже, км;

$L_{аб}$ – протяженность участков ВЛ 10 кВ, выполненных алюминиевыми проводами сечением 50 мм² и выше, км;

$L_{ас}$ – протяженность участков ВЛ 10 кВ, выполненных сталеалюминиевыми проводами, км;

$L_{ст}$ – протяженность участков ВЛ 10 кВ, выполненных стальными проводами, км;

$L_{к}$ – протяженность участков ВЛ 10 кВ, выполненных кабелем, км;

$L_{ВЛП}$ – протяжённость участков ВЛ, выполненных покрытыми проводами, км;

L – общая протяжённость ВЛ 10 кВ, км.

Расчёт количества аварийных отключений ВЛ 10 кВ выполнен для следующих случаев:

- существующая схема ВЛ 10 кВ с неизолированными проводами на протяжении всей трассы;
- участки ВЛ 10 кВ, проходящие по лесным массивам, выполнены с использованием покрытых проводов, на остальных участках трассы неизолированные провода.

Расчёт проводился для восьми ВЛ 10 кВ нескольких сельских районов электрических сетей (РЭС) Республики Беларусь.

Результаты расчёта представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта количества внезапных отключений ВЛ напряжением 10 кВ

№ ВЛ	Длина всей ВЛ L , км	Длина $L_{ВЛП}$ участков ВЛ, проходящих через лес		Количество N_{10} внезапных отключений ВЛ в год		Снижение числа внезапных отключений, %
		км	%	вся ВЛ с неизолированным и проводами	участки, проходящие через лес, выполнены в виде ВЛП	
1	20,06	1,39	6,93	4,37	4,12	5,7
2	13,875	1,58	11,4	2,34	2,12	9,2
3	10,039	4,56	45,4	3,66	2,32	36,6
4	12,812	5,3	41,4	2,25	1,49	33,6
5	17,05	4,93	28,91	2,8	1,62	42,1
6	29,98	8,88	29,62	3,84	2,93	23,9
7	9,768	5,528	56,59	1,64	0,89	45,7
8	9,87	1,56	15,81	2,3	2,01	12,7

Выводы

1. Замена голых проводов на покрытые на участках ВЛ 10 кВ, проходящих через лес, позволяет уменьшить количество внезапных отключений линии, и, следовательно, повысить надёжность электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения.

2. Степень снижения аварийности зависит от процентного соотношения длин участков ВЛ, выполненных в виде ВЛП, и всей линии.

Список использованных источников:

1. Русан В.И., Пухальская О.Ю. Повышение надёжности электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса //

Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2009. – №3. – С. 41-49.

2. Алферова Т.В., Пухальская О.Ю., Алферов А.А. Надёжность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учебное пособие. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2017. – 112 с.

3. Пухальская О.Ю., Медведев К.М. Направления повышения надёжности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения // Современные информационные технологии, средства автоматизации и электропривод: материалы Всеукраинской науч.-техн. конф., посвященной 60-летию ДГМА, Краматорск, 17-21 декабря 2012 г. / Донбас. гос. машиностроит. акад.; редкол.: А. Ф. Тарасов [и др.]. – Краматорск, 2012. – С. 171-173.

4. Короткевич А.М., Кудряшов В.Ф., Драко М.А. Повышение надёжности ВЛ 10 кВ, проходящих через леса, в изменившихся климатических условиях // Энергия и Менеджмент. – 2013. – №4-5. – С. 11-17.

5. Нормы проектирования электрических сетей внешнего электроснабжения напряжением 0,4-10 кВ сельскохозяйственного назначения: ТКП 385-2012 (02230). – Введ. 10.07.2012. – Минск: РУП “Белэнергосетьпроект”, 2012. – 88 с.

6. Фадеева Г.А., Федин В.Т. Проектирование распределительных электрических сетей: учеб. пособие. – Минск: Выш. шк., 2009. – 365 с.

7. Куценко Г.Ф., Пухальская О.Ю. Методика определения расчётного количества внезапных отключений потребителей сельскохозяйственного назначения по цепи “источник–потребитель” // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2005. – №3. – С. 30-33.

8. Клименко, С.В. Сравнение показателей надёжности сельских распределительных сетей, выполненных с применением изолированных и неизолированных проводов // Известия вузов. Электромеханика. – 2004. – №6. – С. 14-17.

Пухальская Ольга Юрьевна – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение», Республика Беларусь, Гомель, УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», olga.u.p@yandex.ru.

Медведев Константин Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники», Республика Беларусь, Гомель, УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», konsmedvedev@yandex.ru.

IMPROVING THE POWER SUPPLY RELIABILITY OF AGRICULTURAL CONSUMERS BY THE USE OF COVERED WIRES ON LINES WITH VOLTAGE 10 KV

O.Yu. Poukhalskaya, K.M. Medvedev
Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy, Gomel,
Republic of Belarus

Abstract. The article discusses the issues of improving the power supply reliability to agricultural consumers. The analysis is given of the use of coated wires on 10 kV in comparison with the bare wires in terms of improving reliability is given. The calculation and estimation of the degree of reduction in the number of sudden outages on the sections of overhead lines with covered wires laid along the territory of forests, in comparison with the sections of lines with bare wires were performed.

Key words: power supply reliability, overhead lines, covered wires, number of outages.

O.Yu. Poukhalskaya – master of technical sciences, senior lecturer of Power Supply department, Republic of Belarus, Gomel, Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy, olga.u.p@yandex.ru.

K.M. Medvedev – candidate of technical sciences, associate professor, the head of the department "Theoretical bases of electrical engineering", Republic of Belarus, Gomel, Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy, konsmedvedev@yandex.ru.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОСВЕЩЕНИЯ ПТИЧНИКОВ С КЛЕТОЧНОЙ СИСТЕМОЙ СОДЕРЖАНИЯ

Д.О. Зуев, Н. Е. Пономарева

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской
ГАУ, г. Зерноград

Аннотация. Уровень освещенности является одним из факторов световой среды, оказывающим существенное влияние на продуктивность птицы. При использовании клеточной системы содержания птицы в безоконных птичниках возникает проблема обеспечения равномерности освещенности по ярусам. Эта проблема сказывается отрицательное влияние на жизнеспособность и продуктивность кур-несушек. Независимо от выбранного способа освещения нужно стремиться к равномерности освещенности, затемненные зоны приводят к появлению конфликтных ситуаций между особями, в связи с этим продуктивность снижается. Новоселовым И. М. приведены исследования освещенности выполненные в четырёхъярусной клеточной батарее. Эти исследования показали, что освещенность по ярусам отличается в несколько раз. В соответствии с литературными источниками при содержании взрослых кур несушек оптимальной является освещенность 10-25 лк. В связи с этой проблемой предложен светильник разработанный сотрудниками ООО «Резерв». Светильник представляет собой профиль выполненный в форме полуцилиндра, а равномерность освещения достигается изменением числа светодиодных линеек и количества светодиодов. Так же каждый светодиод направлен под нужным углом α_1 . В статье приведен анализ технических средств и методов повышения равномерности освещенности.

Ключевые слова: освещенность, равномерность освещения, светодиодные источники.

Введение. Для поддержания продуктивности в птицеводстве с клеточной системой содержания, используются различные источники света и способы их размещения, отличающихся от традиционных способов.

Птицеводство является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей агропромышленного комплекса.

Интенсификация производства продукции птицеводства зачастую идет по пути повышения плотности посадки птиц на основе клеточной системы содержания в безоконных птичниках. Применение такой системы содержания приводит к полной изоляции её от естественной внешней среды. В данных условиях значительно увеличивается роль искусственного освещения.

Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на физиологическое состояние птицы и её продуктивность является интенсивность освещения. С повышением освещённости в птичнике повышается и активность птицы. Высокая интенсивность света с одной стороны может ускорить половое созревание, а с другой – увеличить нервозность птицы. Установлено, что повышенный уровень освещённости вызывает у кур состояние хронического стресса с характерным для него комплексом физиолого-биохимических сдвигов, что может привести к снижению продуктивности и жизнеспособности [1].

В соответствии с различными литературными источниками при содержании взрослых кур-несушек рациональной является освещённость 10–25 лк – при содержании кур-несушек в многоярусных клеточных батареях [2,3,4].

Анализ технических средств, используемых для создания световой среды в птичниках с многоярусными клеточными батареями позволил выполнить их классификацию (рисунок 1).

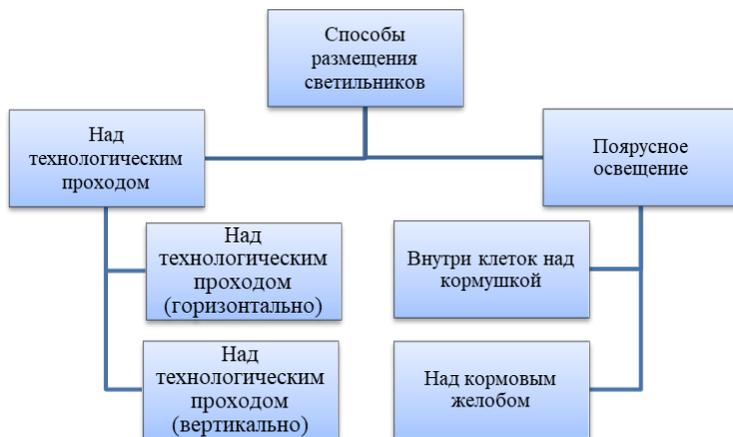


Рисунок 1 – Классификация способов освещения птичников с клеточным содержанием кур-несушек

Выбор способа освещения определяется типом принятого источника света. Так если в качестве источника света используются лампы накаливания, газоразрядные лампы, линейные лампы со светодиодами, то они размещаются горизонтально над технологическими проходами между клеточными батареями на высоте верхнего яруса. Такая система освещения является наиболее распространённой. К ее недостаткам следует отнести высокую неравномерность освещенности по ярусам.

Измерения освещенности, выполненные Новоселовым И.М. по ярусам четырёхъярусной клеточной батареи показали, что освещенность по ярусам отличается в несколько раз. Так для первого яруса она составляет 0,54 от оптимальной, на третьем и четвертом ярусах клеточной батареи средняя освещенность кормушек существенно возрастает (превышая оптимальную в 2,02 и 2,94 раза. При этом сезонная продуктивность по указанным ярусам снижается, соответственно, на 1,6; 2,4% и 5,2% [5].

Сглаживание отрицательного влияния неравномерности освещенности по ярусам клеточных батарей достигается за счет ротации птицы.

Для повышения равномерности освещенности светильники подвешивают в несколько ярусов по высоте, либо используют вертикальную систему расположения линейных источников света над технологическим проходом. Применение такого технического решения позволяет повысить равномерность освещенности, но усложняет систему подвеса светильников.

Появление мощных светодиодов со стабильными характеристиками в последнее время обусловило новейший путь развития систем освещения. Позволило приблизить параметры искусственного освещения птичников к естественному свету, а разработка и применение локальных и линейных светодиодных источников позволило существенным образом повысить равномерность освещения [6].

Примером такого технического решения является светильник, разработанный сотрудниками ООО «Резерв» (рисунок 2).

Светильник содержит корпус в виде светопропускающей трубчатой колбы с размещёнными внутри неё на удлинённых платах светодиодами, причём максимумы диаграммы направленности светодиодов каждого из рядов расположены под углом друг к другу. Использование данного светильника обеспечивает равномерность освещения помещения и клеток для содержания птицы, без образования характерных световых пятен.

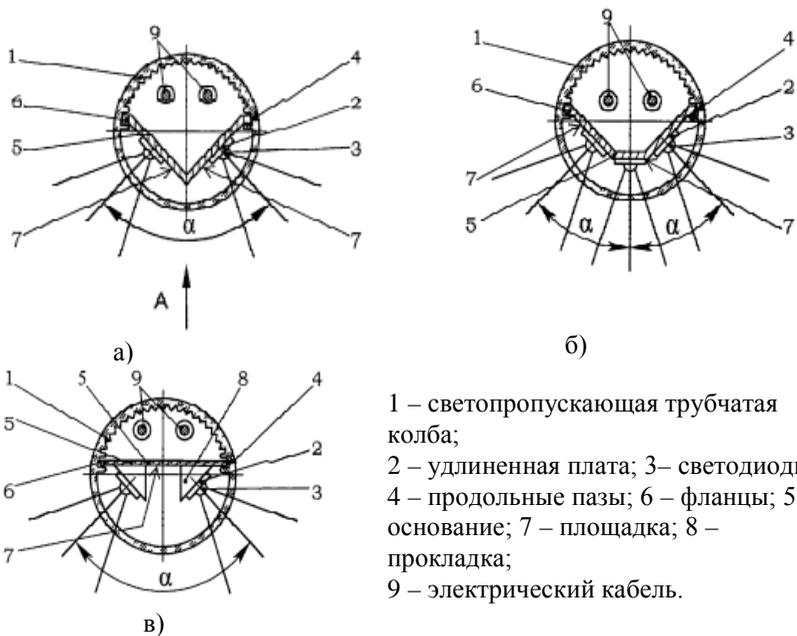
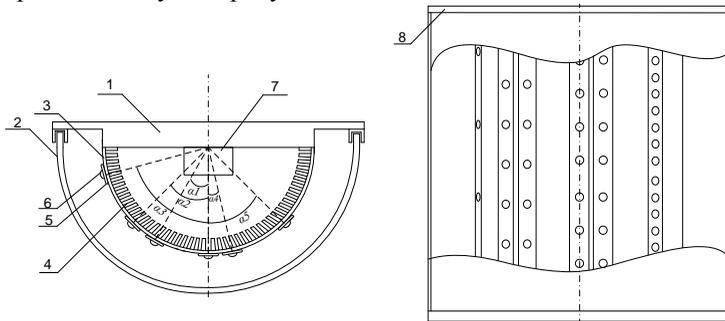


Рисунок 2 – Светодиодный светильник (разработка ООО «Резерв»)

Равномерности освещённости кормового желоба при использовании светодиодного освещения можно добиться и при традиционном размещении светильников над технологическим проходом. Для этого светильники должны иметь конструкцию представленную на рисунке 3.



а– вид спереди; б – вид снизу; 1 – основание; 2 – оптически прозрачная крышка; 3 – профиль светильника; 4 – радиаторные решётки; 5 – светодиодная линейка; 6 – светодиод; 7 – блок питания; 8 – торцевая крышка

Рисунок 3 – Конструкция светодиодного светильника [5,7]

Профиль такого светильника выполняется в форме полуцилиндра, а изменение формы кривой силы света светильника достигается изменением числа светодиодных линеек, изменением их места положения на профиле и изменением количества светодиодов, расположенных на них линейно, равномерно и параллельно оси полуцилиндра. При этом оси диаграмм направленности светового потока светодиодов каждой линейки сдвинуты по отношению к нормали к кормовому жёлобу соответственно на угол $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$.

Данная конструкция светодиодного светильника позволяет обеспечить оптимальную среднюю освещённость кормушек на всех ярусах клеточных батарей.

Выводы: Для достижения максимальной продуктивности при клеточной системе содержания должна быть решена задача обеспечения равномерности освещенности по ярусам клеточных батарей. Анализ технических средств, применяемых для выполнения систем освещения в птичниках позволяет сделать вывод о том, что наилучшие результаты достигаются в случае применения светодиодных источников, например, приведенных на рисунках 2 и 3. Но, здесь следует отметить, что параметры этих источников (количество светодиодных линеек, количество светодиодов в линейке, их положение на профиле определяются размерами клеточного оборудования, количеством ярусов, размерами технологических проходов. Поэтому работы, связанные с разработкой и совершенствованием технических средств для освещения птичников с клеточной системой содержания продолжают оставаться актуальными.

Список использованных источников:

1. Найденский, М. С. Влияние различной освещенности на продуктивность, жизнённость и биохимические показатели крови кур при содержании их на многоярусных батареях [Текст] / М. С. Найденский // В кн.: Повышение естественной резистентности сельскохозяйственной птицы – М., 1983. – С.47–53.
2. Кавтарашвили, А. Светотехнические системы освещения для птицеводческих помещений [Текст] / А. Кавтарашвили, А. Лямцов, В. Малышев, Я. Чванов // Птицеводство – 2013 – №4 – С.12–14.
3. Гречанов, А.П. Эффективные режимы освещения в птичнике [Текст] / А.П. Гречанов // Сучасне птахівництво. – 2005 - №7.
4. Ресурсосберегающая и экологически безопасная технология в промышленном птицеводстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.diplomnic.ru/rabota/39864.html> – (Дата обращения 21.03.2018).
5. Новоселов, И.М. Разработка и обоснование эффективности технологического светодиодного освещения птичника

промышленного стада кур-несушек [Текст] / И.М. Новоселов // автореф. дис. кан. тех. наук – Ижевск – 2011. – 19 с.

6. Кавтарашвили, А.Ш. Продуктивность кур при светодиодном освещении с изменяемой цветовой температурой [Текст] / А.Ш. Кавтарашвили, Е.Н. Новоторов, В.А. Гусев, Д.М. Гладин, // Птицеводство ООО «Техносвет групп» №03 – 2017 – С. 27–29.

7. Патент № 99242 Российской Федерации. МПК Н01 J 33/00. / И.М. Новоселов, Н.П. Кочетков //Светодиодный осветительный прибор – Оpubл. 10.11.2010. Бюл. № 31.

Пономарева Наталья Евдокимовна – кандидат технических наук, доцент, кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин» Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Российская Федерация, тел. +7 (906) 185-21-12 E-mail: ponomarevane@gmail.com

Зув Денис Олегович – магистр по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Российская Федерация, тел. +7 (928) 422-09-11 E-mail: duca.1996@mail.ru

ANALYSIS OF THE TECHNICAL MEANS OF LIGHTING
HOUSES WITH CAGE
MANAGEMENT SYSTEM
D.O. Zuev, N. E. Ponomareva

Azov-Black Sea Engineering Institute, Federal State Budgetary
Educational Establishment of Higher Education Donskoy State Agrarian
University, Zernograd

Abstract. The level of illumination is one of the factors of the light environment, which has a significant impact on the productivity of the bird. With the use of the cage system, the management of poultry in windowless poultry houses raises the problem of ensuring uniformity of illumination on the tiers. This problem has a negative impact on the viability and productivity of laying hens. Regardless of the chosen lighting method, one should strive for uniformity of illumination, darkened zones lead to conflict

situations between individuals, in this connection productivity is reduced. Novoselov I.M. made researches of illumination in four-tier battery cage. These studies have shown that the illumination by the tiers is several times different. In accordance with the literature, when the management of adult laying hens is optimal, the illumination is 10-25 lux. In connection with this problem, a lamp designed by the employees of LLC "Reserve" is proposed. The luminaire is a profile made in the form of a half-cylinder, and uniformity of illumination is achieved by changing the number of LED rulers and the number of LEDs. Also, each LED is directed at the desired angle α_1 . The article gives an analysis of technical means and methods for increasing the uniformity of illumination.

Key words: illumination, uniformity of illumination, LED sources.

Ponomareva Natalia Evdokimovna – candidate of technical sciences, Associate Professor, Chair “Operation of power equipment and electrical machinery” Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, Zernograd, Russian Federation, Tel. +7 (906) 185-21-12 E-mail: ponomarevane@gmail.com

Zuev Denis Olegovich – master of the profession line 35.04.06 "Agroengineering", profile "Electrical equipment and electrical technology" Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, Zernograd, Russian Federation, Tel. +7 (928) 422-09-11 (E) - mail : duca.1996@mail.ru

ОПЫТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО СТАНДАРТУ ISO 50001.

А.И.Миролимов¹, Ж.З.Ахадов², Н.Ш.Мухторов³

¹-Ташкентский Технический Университет

²-Международный институт солнечной энергии

³- УП Бухарский НПЗ

*Аннотация. В статье приведены применение в республике система энергетического менеджмента в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 50001:2011 впримере Бухарскогонепфтеперерабатывающего завода. В Бухарском нефтеперерабатывающем заводе широкомасштабно принимаются меры по повышению энергоэффективности. Для снижению выбросов вредных газов и экономии электроэнергии установлены частотные преобразователи на электродвигателях насосов. Ведется реконструкция насосной станции охлаждающей воды, где взамен 4-х двигателей мощностью 0,4 кВт по 160 кВт устанавливается 2 высоковольтных электродвигателя 400 кВт, что в свою очередь повысит энергоэффективность. Произведена модернизация горелок на котлах для совместного сжигания природного и технологического газа, образующегося в процессе производства. Стандарт ISO 50001 приносит ценность в плане ускорения разработки и коммерциализации энергоэффективных продуктов и возобновляемых источников энергии. Внедрение стандарта приведет к снижению выбросов парниковых газов и иных воздействий на окружающую среду, а также уменьшит затраты на энергию посредством системного энергетического менеджмента. Получено, что внедрение системы энергоменеджмента – это **инновационное** решение, которое связано с модернизацией существующего производства и управления на основе использования **наилучшей мировой практики** в области энергосбережения и помогает организациям сэкономить деньги и ресурсы.*

Ключевые слова: энергетический менеджмент, стандарт ISO 50001, энергосбережения

По уровню энергоёмкости производства Узбекистан занимает одно из первых мест в мире, а значит, повышение энергоэффективности может принести большой экономический эффект. В число наиболее энергоёмких отраслей экономики Узбекистана входят горнодобывающая промышленность, нефтегазовая, электроэнергетика и производство строительных материалов. Сокращение энергопотребления и энергосбережение являются важнейшими приоритетами в экономике страны.

Это очень важно и с точки зрения следования стратегическим направлениям Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития страны в 2017—2021 годах. На сегодняшний день одной из важнейших задач не только энергетики, но и экономики страны в целом является сокращение энергоёмкости и ресурсоёмкости экономики, широкого внедрения в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии, улучшение обеспечения населения электрической энергией на основе строительства новых и модернизации действующих электрогенерирующих мощностей, обновление низковольтных электрических сетей и трансформаторных пунктов, а также реализация мер по улучшению обеспечения населения другими топливно-энергетическими ресурсами и расширение использования возобновляемых источников энергии. Таким образом, энергосбережение отнесено к стратегическим задачам государства [1].

Следование этим стратегическим направлениям способно решить многие долгосрочные задачи, стоящие перед Республикой Узбекистан. Важно, чтобы решение этих задач способствовало увеличению доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе страны и позволит значительно сэкономить энергоресурсы.

Узбекистан стремится инвестировать в энергосберегающие технологии, применять инновационные подходы для устойчивого использования энергоресурсов и переходить на возобновляемые источники энергии. Это продемонстрировал Бухарский нефтеперерабатывающий завод, внедрив первым в республике систему энергетического менеджмента в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 50001:2011.

Бухарский НПЗ был построен после обретения Узбекистаном независимости в 1997 году консорциумом во главе с французской компанией *TECHNIP*. На этом предприятии выпускаются 10 видов продукции: высококачественные сорта бензина, дизельного топлива и авиакеросина.

В мае 2015 года был проведен сертификационный аудит системы энергетического менеджмента на соответствие требований

стандарта ISO 50001:2011 с областью распространения на «Производство нефтепродуктов. Оказание услуг по переработке углеводородного сырья» и в июне 2015 года был выдан сертификат немецким органом по сертификации TÜV Thüringen (Германия) [2].

Внедрение системы энергоменеджмента позволит решить такие проблемы, как истощение природных ресурсов и образование парниковых газов при сжигании ископаемого углеводородного топлива.

На сегодняшний день на УП «Бухарский НПЗ» принято, функционирует и сертифицировано пять систем менеджмента: система менеджмента качества по стандартам ISO 9001 и AS/EN 9100, система экологического менеджмента согласно стандарта ISO 14001, система профессиональной безопасности и здоровья по стандарту OHSAS 18001, и система энергетического менеджмента по стандарту ISO 50001. Это позволило добиться высокой производительности при минимальном энергопотреблении на Бухарском НПЗ [3].

Также, во исполнение Постановления Президента РУз «Программа мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий и систем в отраслях экономики и социальной сфере» № 2343 от 5.05.2015 г., Бухарским нефтеперерабатывающим заводом разработаны мероприятия по экономии энергоресурсов, составлен план практических мер по обеспечению своевременной реализации «Дорожной карты» по повышению энергоэффективности, внедрения энергосберегающих технологий на период 2015-2019гг. [4].

В целях внедрения и функционирования системы энергоменеджмента на Бухарском нефтеперерабатывающем заводе были проведены следующие системные мероприятия:

- определена политика в области энергетического менеджмента,
- определены нормативные и законодательные требования области энергетики,
- обеспечивается их исполнение и оценка соответствия,
- периодически производится энергетический анализ,
- идентифицированы значительные источники потребления,
- определены показатели базового потребления энергоресурсов и показатели энергетической эффективности,
- ведется мониторинг выполнения и принимаются меры по постоянному улучшению показателей энергетической результативности,
- установлена компетентность всего персонала и на постоянной основе проводится повышение квалификации персонала и внутренних аудиторов,

- установлена ответственность персонала на каждом уровне по отношению к системе энергоменеджмента,
- установлено управление документацией и отчетности по системе энергоменеджмента,
- определены и проводятся учебно-тренировочные занятия по подготовке к аварийным ситуациям,
- периодически проводятся внутренние аудиты системы энергоменеджмента,
- принимаются корректирующие и предупреждающие мероприятия по улучшению системы энергоменеджмента,
- ежеквартально проводится анализ функционирования системы энергоменеджмента со стороны руководства и др.

Необходимо отметить, что ежегодно разрабатываются и реализовываются мероприятия и программы по повышению энергетической эффективности, сокращению потребления и рациональному использованию энергоресурсов по заводу и осуществляется мотивация персонала за экономию энергоресурсов.

В Бухарском НПЗ особое внимание уделяется повышению мотивации и осведомленности персонала. Мотивация персонала завода к энергосбережению является составной частью энергоменеджмента. Важным фактором является вовлечение всего персонала завода. Обучение и повышение осведомленности и убежденности рядовых работников завода в значительной степени влияет на их заинтересованность и навыки рационального использования энергоресурсов. Цели и средства их достижения были ясно сформулированы и доведены до персонала.

В Бухарском нефтеперерабатывающем заводе за период функционирования системы энергоменеджмента учужшена система учета энергоресурсов. Примером практической реализации системы энергоменеджмента служитвнедрённая автоматизированная система учета электроэнергии АИИСКУЭ, установка современных электрических счетчиков с применением пластиковых карт в жилом комплексе, установка коммерческого учета электроэнергии, которые выдают круглосуточный сигнал о расходе электроэнергии.

Наряду с организационно-техническими мероприятиями, в 2015 году проведен энергетический аудит и получен энергетический паспорт завода. Ведутся постоянные профилактические работы по повышению дисциплины и рациональному использованию энергоресурсов.

При проектировании строящихся объектов и закупка электрических товаров и оборудования производится с учетом

применения энергосберегающих и энергоэффективных технологий, систем, материалов и оборудования.

Реализация мер, которые направлены только на сокращение затрат по приобретению и обороту топливно-экономических ресурсов мероприятиями по энергосбережению не являются. Энергосбережение – это реализация мер, направленных на сокращение объема используемых энергетических ресурсов [5].

В Бухарском нефтеперерабатывающем заводе широкомасштабно принимаются меры по повышению энергоэффективности. Для экономии электроэнергии установлены частотные преобразователи на электродвигателях насосов. В настоящее время ведется реконструкция насосной станции охлаждающей воды, где взамен 4-х двигателей мощностью 0,4 кВт по 160 кВт устанавливается 2 высоковольтных электродвигателя 400 кВт, что в свою очередь повысит энергоэффективность. Произведена модернизация горелок на котлах для совместного сжигания природного и технологического газа, образующегося в процессе производства.

В целях экономии энергоресурсов установлены датчики движения на линиях освещения административных корпусов, все лампы накаливания и люминесцентные лампы заменены на светодиодные лампы, взамен светильников уличного освещения установлены светодиодные светильники 100 Вт в количестве 350 шт., отключены мало догруженные трансформаторы в цехах. Для экономии топлива автотранспорт завода переоборудован на сжиженный и сжатый газ, установлена система мониторинга и слежения автотранспорта.

Бухарский нефтеперерабатывающий завод наглядно показал, что внедрение стандарта является мощным инструментом для распространения новых технологий и передового опыта, развивая и поддерживая координацию государственных мер по энергоэффективности и возобновляемым источникам энергии. Только радикальное улучшение показателей энергоэффективности поможет сократить потребление энергии, сберечь ресурсы, уменьшить объемы выбросов углекислого газа. Поэтому ключевую роль в переходе к энергоснабжению на основе возобновляемых источников энергии будет играть повышение энергоэффективности.

Так, на заводе в целях внедрения возобновляемых источников энергии идет установка на местах солнечных панелей и солнечных водонагревателей, что будет способствовать сокращению выбросов. В начале текущего года экспериментально установлена солнечная панель мощностью 5 кВт, на 2017 год запланирована установка еще 2 единиц солнечных панелей мощностью 5 кВт.

Выводы: При выполнении вышеуказанных мероприятий и строгого мониторинга ежегодно экономится около 1,3 млн. кВт электроэнергии, свыше 1,0 млн.м³ природного газа, 9-10 тысяч Гкал тепловой энергии и 200 тысяч м³ питьевой воды.

Стандарт ISO 50001 приносит ценность в плане ускорения разработки и коммерциализации энергоэффективных продуктов и возобновляемых источников энергии. Внедрение настоящего стандарта приведет к снижению выбросов парниковых газов и иных воздействий на окружающую среду, а также уменьшит затраты на энергию посредством системного энергетического менеджмента.

Очевидно, что внедрение системы энергоменеджмента – это инновационное решение, которое связано с модернизацией существующего производства и управления на основе использования наилучшей мировой практики в области энергосбережения.

Эффективное использование энергии помогает организациям экономить деньги и ресурсы, а также попытаться противодействовать изменению климата. ISO50001 поддерживает организации во всех отраслях в их стараниях использовать энергию более эффективно с помощью разработки системы энергетического менеджмента.

Список использованных источников:

1. Ж.З.Ахатов, А.И.Миролимов. На пути к низкоуглеродному будущему.// Журнал “Экологический вестник Узбекистана” №9 2017г. стр. 34-36
2. Система менеджмента потребления энергии. Международная организация по стандартизации <https://www.iso.org/standard/51297.html>
3. Сайт Бухарского нефтеперерабатывающего завода <http://www.bnppz.uz/ru/news>
4. Постановление Президента РУз «О Программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы» №2343 от 15.05.2015г.
5. Системы энергоменеджмента. Стандарт ISO 50001. Т.Р.Терешкина, Санкт-Петербург, 2013г.

EXPERIENCE OF ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY
SAVING IN THE INDUSTRY
UNDER THE STANDARD ISO 50001.

Mirolimov A.I., Akhadov J.Z., Mukhtorov N.Sh.

Abstract. The article shows the application of the energy management system in the republic in accordance with the requirements of the international standard ISO 50001: 2011 using the example of the Bukhara oil refinery. Measures are being taken in Bukhara Oil Refinery to increase energy efficiency. To reduce emissions of harmful gases and save energy, frequency converters are installed on pump electric motors. Reconstruction of the pumping station of cooling water, where instead of 4 engines with a capacity of 0.4 kV to 160 kW, 2 high-voltage electric motors of 400 kW are installed, which in turn will increase energy efficiency. Modernization of burners on boilers for joint burning of natural and process gas, which is formed in the production process, has been carried out. The ISO 50001 standard adds value in terms of accelerating the development and commercialization of energy-efficient products and renewable energy sources. The introduction of the standard will reduce greenhouse gas emissions and other environmental impacts, and will reduce energy costs through systemic energy management. It has been received that the introduction of the energy management system is an innovative solution that is associated with the modernization of existing production and management based on the use of the best world practice in energy saving and helps organizations save money and resources.

Key words: energy management, ISO 50001 standard, energy saving

УДК 631.331.99-11-047.44:633.1

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСЕВАЮЩИХ АППАРАТОВ ДЛЯ ВЫСЕВА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Р.А. Булавинцев

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина

Аннотация: В статье рассматриваются механические и пневмомеханические высевающие аппараты сеялок и посевных комплексов отечественного и зарубежного производства. Дана классификация по принципу работы, рассмотрены конструктивные особенности высевающих аппаратов, отмечены их технологические достоинства и недостатки. Представлены агротехнические требования, предъявляемые к высевающим аппаратам посевных машин.

Весьма важной отличительной особенностью посевных машин служит тип применяемых в них высевающих аппаратов. Анализ показывает, что устройства для посева зерновых культур оснащены разнообразными высевающими аппаратами, отличающимися по конструктивному исполнению каждого. Это свидетельствует о том, что не найдено универсальной конструкции аппарата для посева различных по физико-механическим свойствам сельскохозяйственных культур. Все аппараты разделяют на три основных типа по принципу работы: механические, пневматические и пневмомеханические

Наряду с сохранением в производстве простых по конструкции катушечных высевающих аппаратов интенсивно разрабатываются более сложные и дорогие. Применяемые в них конструкторские решения направлены на создание условий для повышения урожая, на повышение производительности и снижение энерго- и трудозатрат, на максимальное упрощение и комфортность настройки.

Ключевые слова: посев, высевающий аппарат, сеялка, посевной комплекс, агротехнические требования.

Введение. При работе посевных машин соблюдение заданной нормы высева семян, то есть высева строго определенного количества семян на единицу поля и снижение травмирования семян обеспечивается за счет применения различных высевающих систем посевных машин и высевающих аппаратов, в частности [9].

Основная часть. Весьма важной отличительной особенностью посевных машин служит тип применяемых в них высевочных аппаратов. Анализ показывает, что устройства для посева зерновых культур оснащены разнообразными высевочными аппаратами, отличающимися по конструктивному исполнению каждого. Это свидетельствует о том, что не найдено универсальной конструкции аппарата для посева различных по физико-механическим свойствам сельскохозяйственных культур. Все аппараты разделяют на три основных типа по принципу работы: механические, пневматические и пневмомеханические [1-8].

Механические и пневмомеханические высевочные аппараты устанавливаются на универсальных сеялках и посевных комплексах, тогда как пневматические высевочные аппараты устанавливаются на сеялках точного высева [2-4].

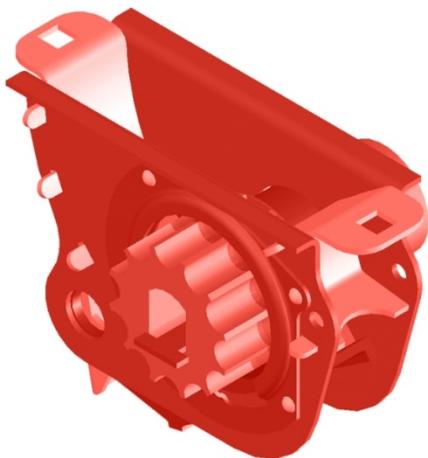
Современные высевочные аппараты должны отвечать следующим агротехническим требованиям:

- равномерно, без пульсаций подавать семена в семяпровод;
- удовлетворительно высевать семена различных культур, отличающиеся по форме, размерам и состоянию поверхности.

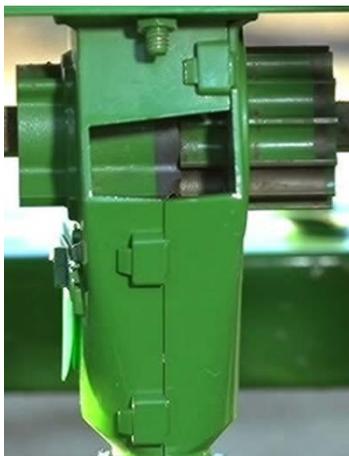
Механические высевочные аппараты представлены желобчатыми или штифтовыми катушками и устанавливаются на сеялках семейства СЗ (АО «Белинсксельмаш»), Amazone (Германия), John Deere (США), Lemken (Германия), Берегиня (ООО «Усть-Лабинский машиностроительный завод»), Horsch (Германия), Unia (Польша) и др [10-16].

Высевочные аппараты с желобчатыми катушками устанавливаются на сеялках СЗ-5.4 (АО «Белинсксельмаш», Россия), посевных комплексах AGRATOR M (ПК «Агромастер»), BD 11, 455 или 1590 (John Deere, США), Cayenne XL 1500 (Unia, Польша), Берегиня (ООО «УЛМЗ», Россия) (рис. 1) и др. Норма высева этих высевочных аппаратов настраивается посредством изменения длины рабочей части катушки и частоты ее вращения. У высевочных катушек с косыми желобками пульсация потока меньше по сравнению с прямыми желобками.

Катушечно-штифтовые высевочные аппараты предназначены как для высева семян, так и удобрений. Они применяются на сеялках семейства СЗ (АО «Белинсксельмаш», Россия), Cayenne XL 1500 (Unia, Польша), D9 (Amazone, Германия), СЗФ (ООО «Агропромышленная Компания «Фаворит», Россия), Saphir (Lemken, Германия) (рис. 2).



а



б



в



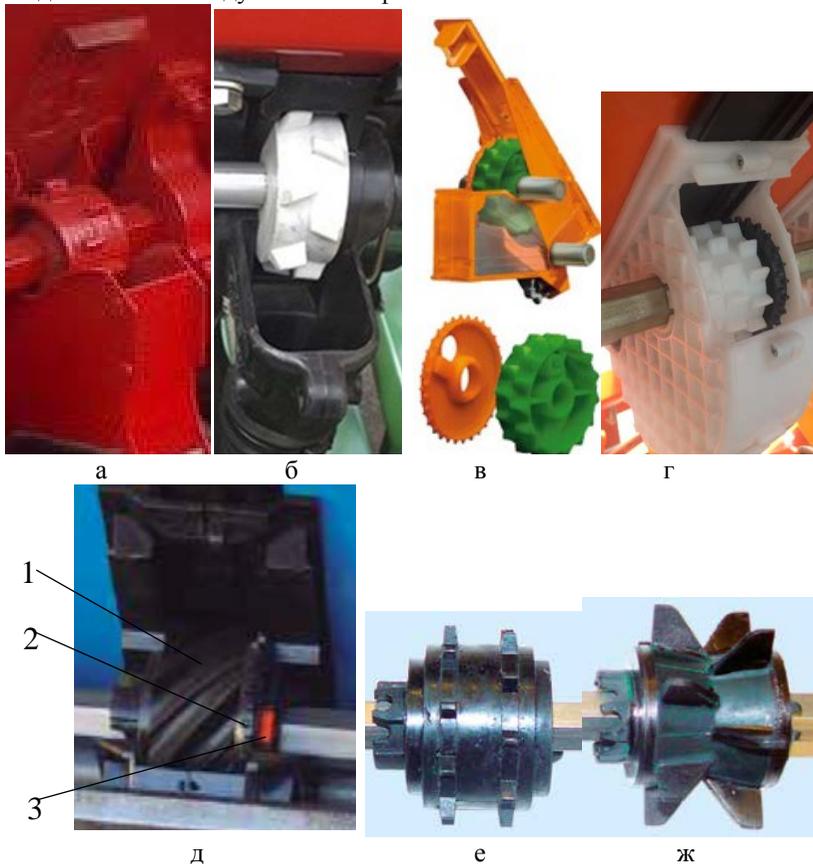
г

а – высеваящий аппарат сеялок семейства СЗ и посевного комплекса AGRATOR M; б – высеваящий аппарат сеялок BD 11, 455 или 1590 (John Deere); в – высеваящий аппарат сеялки Cayenne XL 1500 (Польша); г – высеваящий аппарат сеялки Берегиня (ООО «УЛМЗ»),

Рисунок 1 – Катушечно-желобчатые высеваящие аппараты

Норма высевов семян катушечно-штифтовых высеваящих аппаратов зависит от величины открытия заслонки и частоты вращения катушки.

Высевающие аппараты сеялок D9, СЗФ, Saphir (см. рис. 2) представлены сдвоенными (комбинированными) катушками, соединенными между собой штифтом.



а – высевающий аппарат сеялок семейства СЗ для высева удобрений; б – высевающий аппарат для высева удобрений сеялки Cayenne XL 1500; в – высевающий аппарат сеялки D9; г – высевающий аппарат сеялки СЗФ; д – высевающий аппарат «Конти Плюс»; е – катушка «Моно Плюс»; ж – катушка «Мега Плюс»; 1- катушка со спиралевидными желобками; 2 – катушка с мелкими штифтами; 3 – штифт.

Рисунок 2 - Высевающий аппарат сеялки Saphir

Они предназначены для высева семян, отличающихся по размеру.

Сеялка Saphir (см. рис 2) представлен тремя типами катушек комбинированная катушка «Конти Плюс», «Моно Плюс» и «Мега Плюс», которые могут меняться в зависимости от крупности семян.

Катушки «Моно Плюс» и «Мега Плюс» предназначены для высева семян гороха и бобов до 150 кг/га и свыше 150 кг/га соответственно.

К недостаткам механических высевальных аппаратов можно отнести следующее:

- катушечные высевальные аппараты реагируют на уклон местности и вызывают колебания в высеве;
- присутствует дробление семенного материала;
- неравномерно распределяют семена вдоль рядка.

В последнее время на рынке востребованы посевные комплексы, на которых установлены пневмомеханические высевальные аппараты.

Основные поставщики посевных комплексов на российский рынок – такие компании, как Amazone, Horsch, John Deere, Kverneland, Bourgault и др. У нас посевные комбинации производят АО «Белинсксельмаш» (Пензенская область) «ПК «Агромастер»» (Татарстан), «Агро» (Кемерово), Буденовский машиностроительный завод (Ставропольский край).

Высевальный аппарат посевного комплекса John Deere (рис. 3) представлен четырьмя высевальными катушками, которые позволяют высевать широкий спектр сельскохозяйственных культур (от зернобобовых до технических мелкосеменных) в диапазоне норм высева от 2 до 300 кг/га.

Высевальный аппарат John Deere достигает высоких норм внесения, обладает большой точностью нормы высева и легкостью настроек. Следует упомянуть еще одно большое преимущество: полностью интегрированная система Seed Smart позволяет автоматически менять норму высева на основе имеющейся карты посева, используя такие системы вождения, как система параллельного вождения GreenStar Parallel Tracking, а также система автоматического вождения GreenStar AutoTrac. Все эти системы управления во многом повышают эффективность выполняемых посевных работ.

Дозатор Horsch состоит из нескольких отдельных частей (рис. 4).

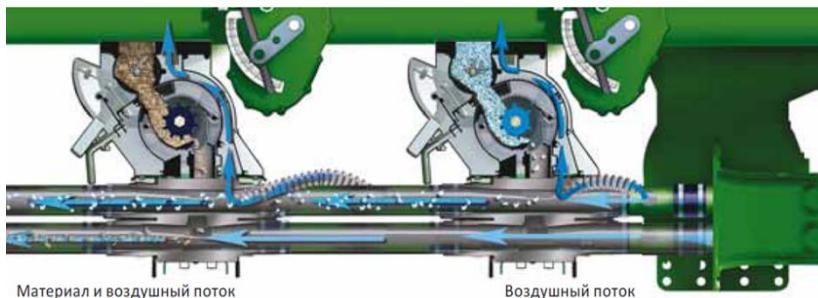
Для высева семян, удобрений различных по размеру и форме дозатор оснащен большим набором роторов. Внизу дозатора находится спускной шлюз. Поток воздуха подхватывает в нем посевной материал. При высеве мелкосеменных культур в боковую крышку 4 устанавливаются щетки. Для крупного посевного материала вместо щеток устанавливается скребок. Дозатор не требует особого технического обслуживания.

В нижней части каждого бункера Alcor (АО «Белинсксельмаш») смонтированы высевальные аппараты (рис. 5), состоящие из шести или восьми высевальных катушек со спиральными ребрами.

Вращение катушек осуществляется посредством цепных передач от правого опорного колеса. Непосредственно около каждого высевающего аппарата размещены вариаторы (см. рис. 5, в), предназначенные для бесступенчатого изменения передаточных отношений привода высевающих аппаратов и, соответственно, установки необходимых норм высева посевного материала.



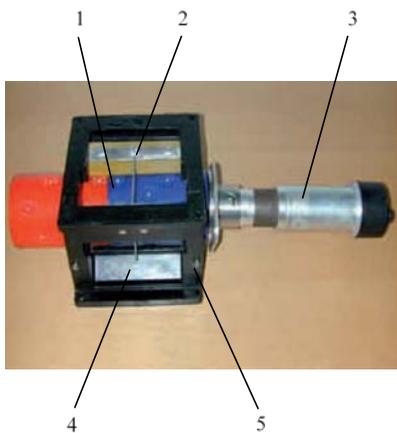
а



б

а – высевающие катушки; б – высевающие аппараты

Рисунок 3 – Пневмомеханический высевающий аппарат посевного комплекса John Deere



а



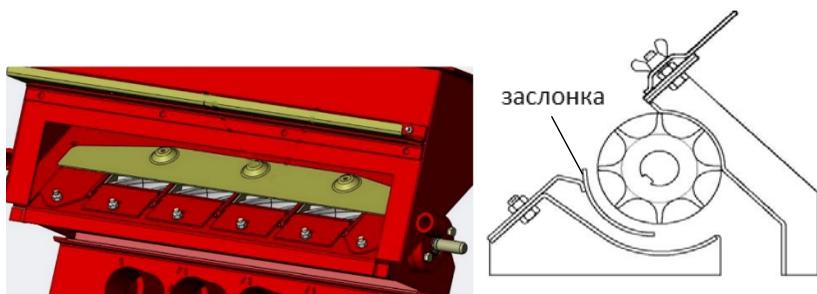
б



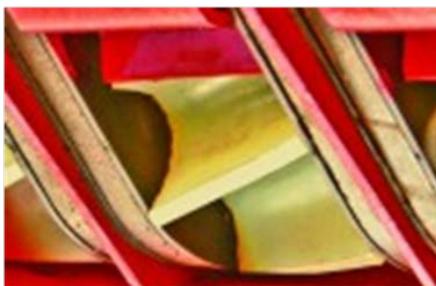
в

а – дозатор посевного комплекса Horsch; б – роторы для семян зерновых культур и удобрений; в – роторы для мелкого посевного материала; 1 – ротор; 2 – клапан; 3 – приводной двигатель; 4 – боковая крышка; 5 – корпус.

Рисунок 4 - Дозатор посевного комплекса Horsch



а



б



в

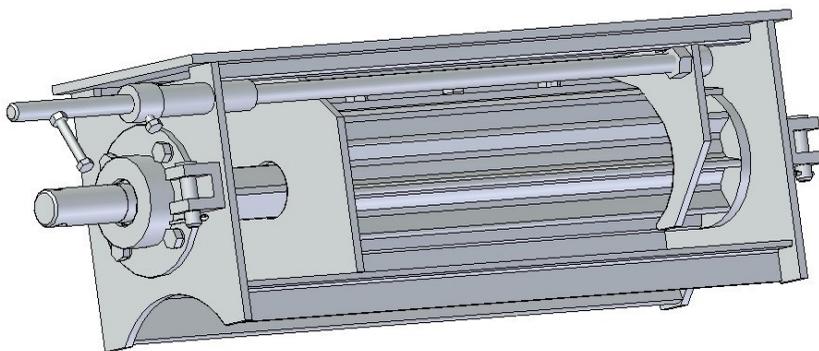
а – высевающий аппарат; б – катушка со спиральными ребрами; в - вариатор

Рисунок 5 – Высевающий аппарат посевного комплекса Alcor

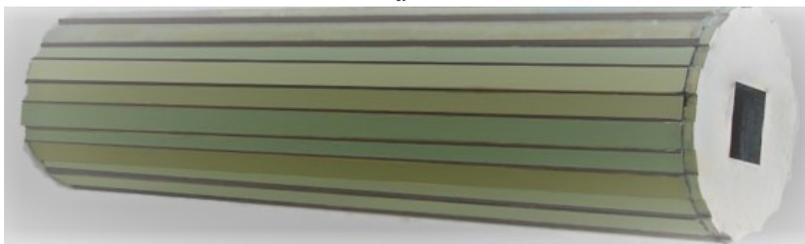
Каждый высевающий аппарат делит высеваемый материал, поступающий из бункеров, посредством катушек, на три или четыре части и подает его в воздушный поток, создаваемый вентилятором. Катушки с наклонными ребрами (см. рис. 5, б) дозируют посевной материал непрерывно, что обеспечивает равномерность расположения семян и удобрений в рядке.

Положением заслонки (см. рис. 5, а) обеспечивается высев различных по размеру семян, при высеве бобовых культур и удобрений заслонка демонтируется.

Высевающий аппарат посевного комплекса Agrator представлен двумя высевающими валиками, предназначенными для высева семян, отличающихся по размеру (рис. 6). Семена и удобрения из бункера поступают на дозатора, а затем в пневмопровод. Расход посевного материала регулируется при помощи винтов. Под воздействием воздушного потока от вентилятора, посевной материал поступает в распределитель, а затем по индивидуальным шлангам попадает к сошникам.



а



б

а – высеваящий аппарат; б – валик для мелкосеменных культур

Рисунок 6 – Высеваящий аппарат посевного комплекса Agrator

К недостаткам пневмомеханических высеваящих аппаратов относится сложность их конструкции.

Выводы. В заключение можно отметить, что наряду с сохранением в производстве простых по конструкции катушечных высеваящих аппаратов интенсивно разрабатываются более сложные и дорогие. Применяемые в них конструкторские решения направлены на создание условий для повышения урожая, на повышение производительности и снижение энерго- и трудозатрат, на максимальное упрощение и комфортность настройки.

Список использованных источников:

1. Булавинцев Р.А., Бурлаков Ю.В. Современные высеваящие аппараты зерновых сеялок // Особенности технического и технологического оснащения современного сельскохозяйственного производства: материалы Международной научно-практической конференции. – Орёл: Изд-во Орёл ГАУ, 2013. - С. 25-28.

2. Булавинцев, Р.А. Обоснование конструктивных технологических параметров катушечно-штифтового высевающего аппарата зерновой сеялки Текст.: ав-тореф. дис. к. тех. наук: 05.20.01/ Булавинцев Роман Алексеевич. Москва, 2006. -19 с.
3. Булавинцев, Р.А. Обоснование конструктивных технологических параметров катушечно-штифтового высевающего аппарата зерновой сеялки Текст.: дис.канд. тех. наук: 05.20.01/Булавинцев Роман Алексеевич. Москва, 2006. -142 с.
4. Калашникова Н.В., Булавинцев Р.А., Юдин Ю.А. Сельскохозяйственные машины: практикум // Орёл: Издательство Орёл ГАУ, 2009. – 356.
5. Калашникова, Н.В. Дозирование семян катушечно-штифтовым высевающим аппаратом / Калашникова Н.В., Булавинцев Р.А. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2006. - № 11. - С. 6-8.
6. Калашникова, Н.В. Дозирование семян катушечно-штифтовым высевающим аппаратом / Калашникова Н.В., Булавинцев Р.А. // Обоснование параметров катушечно-штифтового высевающего аппарата // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2006. - № 8. - С. 34-35.
7. Красовских, В.С. Выссевающие устройства посевных машин / Красовских В.С., Клишин А.И. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. - №8. – С. 48-51.
8. Фирсов, А.С. Классификация устройств для внесения минеральных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур / Фирсов А.С., Рула Д.М. // Вклад студенческой науки в преобразование села Верхневолжья: сб. студенческих работ. - Тверь: Агросфера, 2010.
9. Хорев, А.Н. К обоснованию несимметричного дозирующего устройства / Хорев А.Н. // Технологии и средства механизации производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы VI Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения». - Ульяновск: Изд-во ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина», 2015. – С. 120 – 121.
10. <http://www.pk-agromaster.ru/> (дата обращения 27.05.2018)
11. <https://www.deere.ru/ru/> (дата обращения 27.05.2018)
12. <http://www.pk-agromaster.ru/> (дата обращения 27.05.2018)
13. <https://www.horsch.com/ru/> (дата обращения 27.05.2018)

14. <https://lemken.com/ru/> (дата обращения 27.05.2018)
15. <http://www.amazone.ru> (дата обращения 27.05.2018)
16. <http://unia-vostok.ru/> (дата обращения 27.05.2018)

*Булавинцев Р.А., кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина*

THE CONSTRUCTION ANALYSIS OF THE SEEDING UNITS FOR SOWING OF GRAIN CROPS

Bulavintcev R.A.

Abstract. The article deals with mechanical and pneumomechanical sowing machines of seeders and sowing complexes of domestic and foreign production. Classification according to the principle of work is given, structural features of the seeding units are considered, their technological advantages and disadvantages are noted. The agrotechnical requirements for seeding units of sowing machines are presented.

A very important distinguishing feature of seeding machines is the type of seeding units used in them. The analysis shows that the devices for sowing cereals are equipped with a variety of seeding units, differing in the design of each. This indicates that the universal design of the device for sowing various agricultural crops with different physical and mechanical properties has not been found. All devices are divided into three main types according to the principle of operation: mechanical, pneumatic and pneumomechanical.

Along with the preservation of simple in the construction coil seeding units more complex and expensive ones are being intensively developed. The design solutions used in them are aimed at creating conditions for increasing the yield and productivity and reducing energy and labor costs, for maximum simplification and comfort of adjustment.

Key words: sowing, seeding units, seeder, sowing complex, agrotechnical requirements.

*Bulavintcev R.A., candidate of technical sciences
FSBEE HE "Orel State Agrarian University named after N.V.
Parakhin*

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СОШНИКОВ СОВРЕМЕННЫХ СЕЯЛОК ДЛЯ ПРЯМОГО ПОСЕВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Р.А. Булавинцев

ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина

Аннотация: В статье рассматриваются сошники отечественного и зарубежного производства для прямого посева сельскохозяйственных культур. Приведена классификация сошников по форме образования борозды: V-образная, U-образная и перевернутая T-образная. Описана конструкция двухдискового сошника сеялки Salford 520, анкерного сошника сеялки Amazone Primera DMC, анкерного и лапового сошника сеялки СКП-2.1ДА.

В результате проведенного анализа были выявлены достоинства и недостатки всех типов сошников.

Так сошники образующие V-образную форму борозды минимально повреждают целостность почвы, хорошо ее копируют, точно выдерживают глубину обработки почвы при работе на больших скоростях, но при этом затачивают растительные остатки в семенное ложе и требуют увеличение расходов на техническое обслуживание.

Сошники образующие U-образную форму борозды создают бороздку с плотным семенным ложем, способствующем, быстрому прорастанию семян, но недостаточно контролируют глубину посева.

Лаповые сошники обеспечивают равномерное распределение семян по площади питания, что приводит к увеличению урожайности, в свою очередь такие сошники сильно повреждают почву, выносят глыбы на поверхность.

Ключевые слова: прямой посев, дисковый сошник, анкерный сошник, лаповый сошник, стерневая сеялка, посевное ложе.

Введение. Для повышения эффективности производства сельскохозяйственных культур аграрии все чаще стали применять технологию прямого посева. При прямом посеве сокращаются затраты, восстанавливается почвенное плодородие, сохраняется влага, снижаются риски земледелия, эрозия почвы сводится к нулю. Закрытая система посева повторяет действия природы, при ней почва более устойчива к засухе.

Основная часть. Применяемые для прямого посева сеялки должны разрезать растительные остатки, минимально сдвигать почву и должны обеспечить точный посев на заданную глубину. Сошник является самым важным, сложным и загруженным элементом сеялки. В настоящее время для прямого посева используются дисковые, анкерные (долотообразные) и лаповые сошники.

Существует большое количество разновидностей дисковых сошников и соответственно они работают по-разному в различных условиях. К преимуществам дискового сошника можно отнести минимальное повреждение целостности почвы. Некоторые производители ставят копирующее колесо регулятора заглабления в месте выхода сошника из почвы, что препятствует вспучиванию почвы под воздействием диска. Чем меньше угол наклона диска по направлению к движению, тем меньше повреждение верхнего почвенного слоя [4].

К стерневым сеялкам с дисковыми сошниками относятся Salford 520 (Канада), Берегиня АП-402 (Россия), СРН-2000F (США), SD7200 (Казахстан), John Deere 1590 (США) и др.

Основой сеялки Salford 520 является двухдисковый сошник (рис. 1), который отлично копирует неровности поля, за счет параллелограммного механизма присоединения к раме, точно выдерживает установленную глубину заделки на высоких скоростях. Смещенные относительно друг друга диски легко проникают в почву, расположенный между дисками пластиковый уплотнитель разравнивает семена в борозде и улучшает их контакт с почвой. Подпружиненный параллелограммный рычажный механизм создает давление на сошник, которое концентрируется на обрезиненном прикатывающем катке. Необходимое заглабление дисков и соответственно глубина посева устанавливается с помощью изменения положения катка. Шарнирное соединение сошника и катка обеспечивает точное прикатывание даже при посеве на полях со сложным контуром и частыми поворотами [1, 2, 5, 6].

Перед каждым сошником установлен дисковый нож (волнистый диск) на независимой подвеске. Он прорезает в стерне щель, разрушает уплотнения верхнего слоя, измельчает растительные остатки, предотвращает попадание соломы на семенное ложе. Заглабление дискового ножа настраивается на 2,5см ниже глубины посева. В результате корневая система растений развивается вертикально, ей доступна влага и питательные вещества нижних слоев почвы.

Потенциальными недостатками, в зависимости от способа применения и севооборота, может стать проникновение стерни в семенное ложе. Так же дисковый сошник требует увеличение расходов

на техническое обслуживание и повышает стоимость сеялки.



1-сошник; 2- параллелограммный рычажный механизм; 3-каток; 4-дисковый нож

Рисунок 1 -Сошник сеялки Salford 520

У анкерных (долотообразных) сошников есть неоспоримое преимущество – способность перемещать пожнивные остатки и почву с семенного ряда. При этом долотообразный сошник уплотняет посевное ложе борозды, что способствует быстрому прорастанию семян [3].

К сеялкам с анкерными сошниками относятся СКП-2,1ДА (Россия), Primera DMC (Германия), посевной комплекс "AGRATOR ANCER" (Россия), Seed Master (Франция).



долотообразный сошник; 2-каток; 3-параллелограммный механизм

Рисунок 2 - Сошник сеялки Amazone Primera DMC

Анкерный (долотообразный) сошник сеялки Primera DMC (рис. 2) был разработан для прямого и мульчированного посева в засушливых областях. Посевной материал закладывается под пожнивные остатки, чтобы обеспечить хороший контакт с почвой и тем самым создать оптимальные условия для прорастания семян [2, 7].

Они установлены с помощью параллелограммной подвески 3 и постоянно копируют неровности почвы. Защита от наезда на камень дает возможность вертикального и горизонтального отклонения от препятствия. Двойные катки 2 при прямом посеве обеспечивают равномерную глубину хода и покрытие семян почвой. Долотообразные сошники 1 оставляют за собой чистые борозды для посевного материала.

Анкерный сошник сеялки СКП-2.1ДА (рис. 3) воздействует на почву на 20%. Он делает бороздку в земле и создает плотное ложе, в которое кладется семя. При этом уплотненная структура почвы сохраняется, мульча на поверхности остается практически нетронутой, за счет чего сохраняется влага [8].

Сошник сеялки крепится к раме шарнирно, посредством пружины 2 создается вибрация, позволяющая стойке 1 самоочищаться, а также снизить тяговое сопротивление машины.



Рисунок 3 – Анкерный сошник сеялки СКП-2.1ДА

К недостаткам долотообразных сошников относится недостаточный контроль глубины посева и высокая вероятность

нагребания пожнивных остатков. Кроме этого, сошники повреждает поверхность почвы, что приводит к потере почвенной влаги.

К сеялкам с лаповыми сошниками относятся СКП-2.1 (Россия), СКС-2 (Беларусь), УСК-2 (Казахстан), LD 3000 – AS QUASAR (Италия) и др.

Культиваторная лапа вызывает ещё большее повреждение почвы, чем анкерные сошники, и провоцирует забивание пожнивными остатками. Глубина посева часто неравномерная. Сеялки с культиваторными лапами при работе часто выносят глыбы и камни на поверхность почвы, что вызывает проблемы при выращивании сельскохозяйственных культур [4].

Лаповый сошник сеялки СКП-2,1 (рис. 4) предназначен для подпочвенно-разбросного посева зерновых и зернобобовых культур по стерновым и отвальным фонам, преимущественно в районах с недостаточным увлажнением и проявлением ветровой эрозии почв.

Сошник состоит из стойки 1, в нижней части которого имеется лоток 2 для установки семяпровода. Лапа 3 крепится к стойке 1. Пружина 4 способствует колебанию (вибрации) стойки с лапой, что позволяет лапе самоочищаться от нависших растительных остатков. В нижней части стойки установлен делитель, позволяющий распределять семена по всей ширине лапы.



Рисунок 4 – Лаповый сошник сеялки СКП-2.1

Подпочвенно-разбросной посев за счет равномерного

распределения семян по площади способствует улучшению развития растений и позволяет получить увеличение урожая на 10 - 30%, густота хлебостоя при этом повышается на 36%; засорённость почвы снижается на 50-60%.

Выводы. Анализ сошников для стерневого посева показал, что в настоящее время существует множество конструкций. При выборе сеялки с тем или иным типом сошником важно, чтоб она не забивалась, могла обеспечивать равномерный посев, как по длине рядка, так и по глубине. Особое внимание необходимо уделить сервисной службе, гарантии производителя, легкодоступности к узлам и деталям, ремонтнопригодности.

Список использованных источников:

1. Калашникова Н.В., Булавинцев Р.А., Полохин А.М., Юдин Ю.А. Современные конструкции сошников зерновых сеялок // Состояние и перспективы энерго- и ресурсосберегающих технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции. – Орёл: Изд-во Орёл ГАУ, 2009. – С. 79-84.
2. Калашникова Н.В., Булавинцев Р.А., Юдин Ю.А. Сельскохозяйственные машины: практикум // Орёл: Издательство Орёл ГАУ, 2009. – 356.
3. Косолапов, В. В. Сравнительный анализ сошниковых механизмов посевных агрегатов [Электронный ресурс] / В. В. Косолапов, Е. В. Косолапов / Вестник НГИЭИ. – 2011. – № 1. –Т. 2. – С. 77–89.
4. Пименов, А.В. Выбор сеялки прямого посева / А.В. Пименов // Аграрный консультант. 2013. № 1 (6). С. 14-16.
5. Чепоров Е.С., Булавинцев Р.А. Дисковые сошники современных сеялок // Особенности технического оснащения современного сельскохозяйственного производства: сборник материалов к Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Орёл: Изд-во Орёл ГАУ, 2012. - С. 249-254.
6. <http://salfordrus.ru> (дата обращения 6.06.2018)
7. <http://www.amazone.ru> (дата обращения 6.06.2018)
8. <http://сеялка-омичка.рф> (дата обращения 6.06.2018)

*Булавинцев Р.А., кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный
университет имени Н.В. Парахина*

THE CONSTRUCTION ANALYSIS OF COULTERS OF MODERN SEEDERS FOR DIRECT SOWING OF AGRICULTURAL CROPS

Bulavintcev R.A.

Abstract. In the article coulters of domestic and foreign production for direct sowing of agricultural crops are considered. The coulters are classified according to the furrow formation form: V-shaped, U-shaped and inverted T-shaped. The design of the double-disc coulters of the Salford 520 seeder, the Amazone Primera DMC seeder coupler, the SKP-2.1DA anchor and paw coulters is described.

As a result of the analysis, the advantages and disadvantages of all types of coulters were revealed.

So the V-shaped coulters minimally damage the integrity of the soil, copy it well, accurately withstand the depth of tillage at high speed, but at the same time tighten plant remains in the seedbed and require an increase in maintenance costs.

The coulters forming a U-shaped groove create a groove with a dense seed bed, which facilitates the rapid germination of the seeds, but does not sufficiently control the depth of the sowing.

Paw coulters provide for an even distribution of seeds over the area of feeding, which leads to an increase in yield, in turn such coulters severely damage the soil, carry blocks to the surface.

Key words: direct seeding, disc coulters, anchor coulters, paw coulters, stubble seeder, seedbed.

*Bulavintcev R.A., candidate of technical sciences
FSBEE HE "Orel State Agrarian University named after N.V.
Parakhin "*

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЧИСТКИ СЕМЯН КАРУСЕЛЬНОГО ТИПА

Ю.А. Медведев, А.В. Галкин

ФГБНУ ВНИИМЛ

Аннотация. В данной статье изложено состояние проблемы очистки семян мелкосемянных культур, рассмотрены задачи научно-технического обеспечения семеноводства и разработки высокоэффективных рабочих органов и машин для получения семян. Анализ современных устройств и существующих технологических схем для очистки семян позволил выявить ряд значительных недостатков. Предложена новая схема, в которой используются плоские решета очистки, имеющие круглую форму, что позволяет перемещать очищаемый материал по замкнутому циклу с возможностью постоянной его сепарацией. Новое устройство, для очистки и сепарации семян льна и трав, позволит повысить эффективность очистки семян с меньшими потерями, снизить затраты энергии и материалоемкость. Рассмотрен процесс движения материала по решету под воздействием лопатки (скорость движения частицы по спирали и скорость движения частицы по лопатке), при которых произойдет сход частицы с рабочего решета за один оборот лопатки.

Ключевые слова: очистка, семена, лен, решето, лопатки, щетки.

Введение. Отечественное льноводство на протяжении многих лет испытывает нехватку высококачественных посевных семян льна-долгунца, что негативно отражается на показателях всей отрасли [1, 2]. Это комплексная проблема, требующая не только агрономического [3], но и инженерно-технического решения [4, 5]. Основной задачей научно-технического обеспечения в этом направлении является изыскание, исследование и создание высокоэффективных рабочих органов и машин для получения семян льна [6, 7].

В современных условиях требования к машинам и оборудованию для механизации трудоёмких процессов очистки семян льна значительно изменились [8]. Новые машины должны быть более высокопроизводительными и менее энергоёмкими, они должны выполнять технологический процесс с более высоким качеством, себестоимость их изготовления и материалоемкость должны быть

ниже ранее выпускаемых производством технических средств.

В настоящее время для очистки семян льна используются как отечественные, так и зарубежные машины, такие как ОС - 4,5А, «Петкус Гигант» К - 531, СОМ – 300 и др. Применяемые в перечисленных машинах решетчатые станы имеют ограниченные по длине рабочие решета. Это связано с необходимостью при конструировании придерживаться определенных габаритов машин. При этом для качественной очистки семян и конструктивном ограничении рабочей площади решет, приходится проигрывать в производительности, так как сепарация материала происходит на ограниченной длине решет, проходя которую должно произойти полное разделение материала на фракции, а при большой подаче материала решетчатый стан не справляется с поступающим объемом материала [9].

В машинах для очистки семян, имеющих малую и среднюю производительность применяют многоярусную схему расположения решёт («Кимбрия Дельта 143», «Дельта Комби 146»). Повышение производительности достигается использованием параллельно работающих решетчатых станом, устанавливаемых один над другим. Недостатками таких схем расположения является усложнение конструкции и увеличение габаритов и веса машин [10]. Поэтому разработка новых устройств для очистки семян, позволяющих упростить конструкцию и повысить производительность является актуальной.

Решетчатый стан, на котором происходит разделение материала на фракции, является одним из основных рабочих органов машин по очистке семян. Традиционная форма решет, применяемых в решетчатых станах, прямоугольная. При такой форме решет решающим моментом в проектировании является площадь решета, при которой будет качественно производится процесс очистки семян, то есть длина и ширина, которые рассчитывается по формулам в зависимости от производительности машины.

Ширина решета $B = Q/q_v$, где Q – производительность устройства, кг/с; q_v - удельная производительность, отнесенная к единице ширины решета, кг/с·м.

Длина решета $l = Q/Bq_f$, где Q - производительность устройства, кг/с; B – ширина решета; q_f - удельная производительность отнесенная к единице площади решета кг/с·м².

На решетках прямоугольной формы сепарация материала происходит на ограниченной длине, проходя которую должно произойти полное разделение материала на фракции.

Анализируя формулы ширины и длины решет можно сделать вывод, что производительность машин напрямую связана с размерами

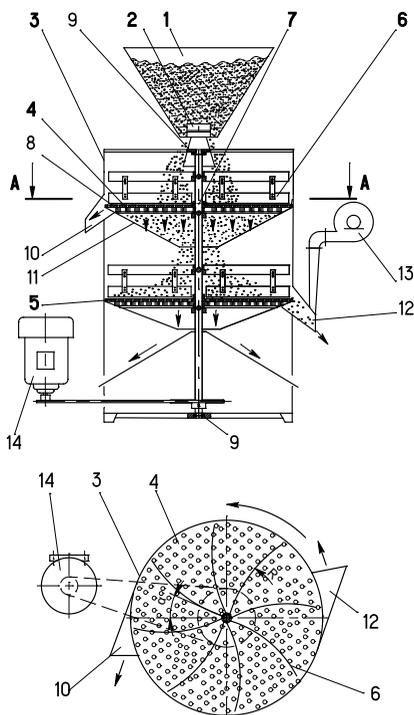
решет и для уменьшения габаритов машин приходится уменьшать рабочую площадь решетных станков. При требуемой чистоте очистки это приводит к снижению производительности машины.

Рассматривая технологические схемы машин очистки семян, где используются плоские решета, для снижения зависимости качества получения семян от площади рабочих решет необходимо разработать такую технологическую схему очистки, в которой очистка материала происходит по замкнутому циклу с постоянной его сепарацией. Такой формой, являются круглые плоские решета, на которых, при помощи криволинейных лопаток закрепленных на вращающемся валу происходит постоянное перемещение материала. При перемещении материала лопатками по плоскому решету происходит просыпания семян через отверстия решет, крупные примеси превышающие размер отверстий решета остаются на решете и лопатками смещаются к краю решета, где попадая на сходной лоток, удаляются.

В результате анализа существующих технологических схем предлагается новая схема, в которой используются плоские решета очистки, имеющие круглую форму, что позволяет перемещать очищаемый материал по замкнутому циклу с возможностью постоянной его сепарацией. Устройство очистки семян карусельного типа показано на рисунке 1.

Технологический процесс, показанный на рисунке 1, заключается в следующем: исходный материал из бункера 1, через регулируемую заслонку 2 подачи, поступает в центральную часть корпуса 3, выполненного в виде цилиндра и установленного вертикально, на верхнее решето 4. Криволинейные лопатки 6, жестко закрепленные на вращающемся валу 7 с опорными подшипниками 9, перемещают исходный материал по верхнему решету 4, при этом, за счет того, что криволинейные лопатки 6 в поперечном сечении имеют форму дуги, выпуклостью направленной в сторону вращения вала 7, происходит смещение материала от центра верхнего решета 4 к его краю при одновременном просеивании материала через отверстия в верхнем решете 4 на конус схода 11, с которого материал поступает к центру нижнего решета 5. За счет кривизны лопаток 6 крупные примеси, которые не могут просеиваться через отверстия верхнего решета 4, в процессе кругового вращения криволинейных лопаток 6, смещаются к краю верхнего решета 4, откуда попадают на лоток 10 схода крупных примесей и отводятся в отходы. С конуса схода 11 верхнего решета 4 материал поступает к центру нижнего решета 5. На нижнем решете 5 с отверстиями меньшего диаметра, чем у верхнего решета 4, процесс очистки семян повторяется и за счет кривизны лопаток 6 чистые семена смещаются в процессе кругового вращения лопаток 6 к краю нижнего решета 5 и по лотку 12 схода чистых семян

поступают для затаривания семян. Мелкие и колотые семена, а так же мелкие примеси просыпаются через отверстия нижнего решета 5 и отводятся в отходы. Вентилятор 13, установленный над лотком 12 схода чистых семян, удаляет пыль и оставшиеся мелкие примеси. Щетки 8, закрепленные на валу 7 и установленные снизу каждого из решет 4, 5, при круговом вращении очищают отверстия решет 4, 5. Привод устройства очистки семян производится двигателем 14 через систему шкивов.



1 - бункер; 2 - регулируемая заслонка; 3 - корпус; 4 - верхнее решето; 5 - нижнее решето; 6 - лопатки; 7 - вал; 8 - щетки; 9 - подшипники; 10 - лоток схода крупных примесей; 11 - конус схода; 12 - лоток схода чистых семян; 13 - вентилятор; 14 - привод.
Рисунок 1 – Схема устройства очистки семян карусельного типа

Рассмотрим движение материала по решету под воздействием лопатки [11]. На рисунке 2 лопатка представлена прямой АБ.

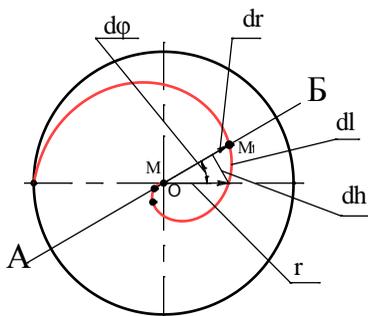


Рисунок 2 – Траектория движения частицы

Прямая AB , равномерно вращается относительно точки O . По прямой AB равномерно перемещается точка M отдаляясь от точки O . В результате точка M , перемещаясь, описывает линию — спираль Архимеда.

$dl = \sqrt{dr^2 + dh^2}$, где dr - приращение радиуса r , при приращении угла φ на $d\varphi$.

При повороте прямой AB из любого положения на некоторый угол $\Delta\varphi$ точка M смещается на расстояние Δr . Смещение MM_1 происходит за один оборот прямой AB , и всегда равно одному и тому же числу. Это число называется шагом спирали Архимеда. Траектория движения частицы по решетке имеет вид спирали Архимеда. При скорости вращения вала 4 об/мин частица M пройдет расстояние равное длине спирали Архимеда за 15 секунд. Зная длину пути L и время t за которое частица M пройдет это расстояние найдем ее скорость. Формула длины дуги спирали Архимеда:

$$L = \frac{k}{2} \left(\varphi \sqrt{1 + \varphi^2} + \ln \left(\varphi + \sqrt{1 + \varphi^2} \right) \right),$$

где φ – угол поворота в радианах, $\varphi = 360^\circ$ или 6,28 радиан; $k = a/2\pi$ – параметр спирали Архимеда, расстояние смещения точки M при повороте прямой AB на один радиан; a – расстояние между соседними точками пересечения спирали с осью абсцисс, так называемый шаг спирали, в нашем случае, a равна радиусу рабочего решета $a=R=397$ мм.

Подставим $k = a/2\pi$ и наши данные в уравнение и решим его:

$$L = \frac{397}{4 \cdot 3,14} \left(6,28\sqrt{1 + 6,28^2} + \ln \left(6,28 + \sqrt{1 + 6,28^2} \right) \right) = 1340,03 \text{ мм}$$

Зная расстояние и время, за которое точка пройдет расстояние от центра до края рабочей плоскости можно определить скорость движения точки.

$$v = S/t = 1340,03/15 = 89 \text{ мм} / \text{с} = 5,36 \text{ м} / \text{мин.}$$

При движении по спирали частица M за это же время t так же должна пройти путь L_1 равный длине рабочей лопатки рисунок 3. Найдем радиус изгиба лопатки. Так как длина спирали и радиус изгиба лопатки зависят от радиуса рабочего решета, то примем длину дуги спирали L за длину окружности, радиус которой примем за радиус изгиба лопатки.

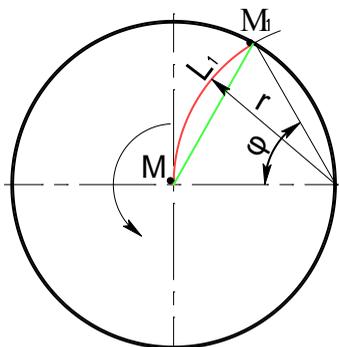


Рисунок 3. Движение частицы по лопатке

Найдем радиус изгиба, лопатки $r = l/2\pi = 1340,03/6,28 \approx 213$ мм, построив окружность этим радиусом с центром лежащим на оси абсцисс получим точки пересечения M и $M1$, найдем центральный угол φ хорды стягивающую дугу $M-M1$ $\varphi = 55^\circ 30'$. По формуле найдем

длину дуги $L_1 = \frac{\pi r}{180} \cdot \varphi$, где r - радиус дуги, φ - центральный угол,

$$\text{тогда } L_1 = \frac{3,14 \cdot 213}{180} \cdot 55,30 = 202,85 \text{ мм.}$$

Зная длину дуги, в нашем случае это длина лопатки, и время t за которое частица M пройдет это расстояние, найдем скорость частицы.

$$v_1 = l/t = 202,85/15 = 13,52 \text{ мм} / \text{с} = 0,812 \text{ м} / \text{мин.}$$

Полученные параметры движения точки М позволяют за один оборот лопатки пройти путь равный длине спирали и длине дуги лопатки, что позволит сместить точку М от центра решета к краю,

Выводы: Предложена новая схема устройства для очистки семян, в которой используются плоские решета очистки, имеющие круглую форму, что позволит перемещать очищаемый материал по замкнутому циклу с возможностью постоянной его сепарацией. Применение данного устройства позволит повысить эффективность очистки семян с меньшими потерями, со значительным снижением затрат энергии, металлоемкости, что приведет к снижению себестоимости семян льна.

Рассмотрен процесс движения материала по решету под воздействием лопатки и определены условия, при которых произойдет сход частицы с рабочего решета за один оборот лопатки - скорость движения частицы по спирали $v = 5,36 м / мин$ и скорость движения частицы по лопатке $v_1 = 0,812 м / мин$.

Список использованных источников:

1. Ростовцев Р.А., Черников В.Г. Приоритеты в механизации современного льноводства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2016. № 5. С. 2-4.

2. Ущাপовский И.В., Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В., Галкин А.В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения // Молочнохозяйственный вестник. 2017. № 1 (25). С. 166-186.

3. Uschapovsky I. The Russian flax sector: bottlenecks and solutions // Journal of Natural Fibers. 2009. Т. 6. № 1. С. 108-113.

4. Карпова Л.Г., Безбабченко А.В., Ущাপовский И.В., Новиков Э.В. Эффективность первичной переработки льносырья в России // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 6. С. 22-24.

5. Ковалев М.М., Галкин А.В. Машинные технологии производства льнопродукции и их эффективность // В книге: Инновационные процессы - основа модели стратегического развития АПК в XXI веке. Тверь: ТГСХА, 2011. С. 62-64.

6. Ростовцев Р.А., Шишин Д.А. Устройство для отделения семенных коробочек от стеблей льна // Сельский механизатор. 2016. № 7. С. 14-15.

7. Ростовцев Р.А., Пучков Е.М., Ущাপовский И.В., Галкин А.В., Романенко В.Ю. Стратегия национальной сырьевой безопасности России // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур: материалы Международной научно-практической

конференции ФГБНУ ВНИИМЛ, г. Тверь, 18 мая 2017 г. – Тверь: Твер. гос. ун-т. – 2017. С. 3-13. – 379 с.

8. Галкин А.В. Показатели качества работы очесывающе-транспортирующего барабана // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 8. С. 12-13.

9. Медведев Ю.А. Комплекс технических средств для повышения эффективности сепарации, сушки и переработки льняного вороха // Техника и оборудование для села. 2016. № 9. С. 29-33.

10. Медведев Ю.А., Калашникова Н.А. Моноблочная машина для обмолота вороха льна, рапса и трав МВУ-1,5 // В сборнике: Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур Материалы Международной научно-практической конференции. 2016. С. 209-212.

11. Пат. 155634 РФ МПК А01F 11/02 (2006.01). Машина для переработки льновороха / Ю.А. Медведев, М.М. Ковалев, Д.Ю. Лачуга, Н.А. Калашникова, В.В. Зубанов; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИМЛ. – № 2015127571/13; заявл. 08.07.2015; опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28. – 7с.

12. Жилин П. А. Теоретическая механика: учеб. пособие [Текст] / П.А. Жилин - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 146 с.

Медведев Юрий Аркадьевич старший научный сотрудник лаборатории «Возделывания и уборки лубяных культур»;
y.medvedev@vniiml.ru.

Галкин Алексей Васильевич кандидат технических наук, ученый секретарь, a.galkin@vniiml.ru

ФГБНУ ВНИИМЛ (Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства), 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, д. 17/56, тел./факс (4822)41-61-10, vniiml@mail.ru

DEVICE OF THE ROTATION TYPE FOR THE SEED CLEANING

Yu.A. Medvedev, A.V. Galkin

All-Russian Research Institute of Flax Production (ARRIFP)

Abstract. Research and technical problem of the seed cleaning of small-seed crops is described. The tasks of scientific and technical support of seed production and the development of highly effective working organs and machines for obtaining seeds are considered. Analysis of modern devices and existing technological schemes for seed cleaning was done.

Some shortcomings in technologies were found. A new scheme was proposed by the authors. The flat sieve cleaning, having a circular shape, which allows to move the material to be cleaned in a closed cycle with the possibility of its permanent separation were proposed. A new device for cleaning and separating flax and grass seeds will improve the efficiency of seed cleaning with less losses, reduce energy costs and material consumption. The process of material movement along the grid under the influence of the blade (the speed of the particle's movement along the spiral and the velocity of the particle's motion along the blade) is considered.

Key words: cleaning, seeds, flax, sieve, scoops, brushes.

Medvedev Yuri Arkadievich, senior researcher, laboratory "Cultivation and harvesting of fiber crops", ARRIFP, y.medvedev@vniiml.ru.

Galkin Alexey Vasilievich, PhD, senior researcher, ARRIFP, a.galkin@vniiml.ru

(ARRIFP) 170056, Russia, Tver, Komsomolskiy pr., 17/56, tel./fax (4822) 41-61-10, vniiml1 @ mail.ru

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЕЁ РАБОТЫ

А.В. Нанка, Ю. Н. Сыромятников

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко (ХНТУСХ)

Аннотация. Предметом исследования являются качественные показатели работы почвообрабатывающей роторной рыхлительно-сепарирующей машины. В полевых условиях экспериментально определено влияние частоты вращения ротора почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины на физико-механические свойства почвы после ее обработки при постоянном значении его кинематического параметра, скорости движения агрегата, и глубины обработки. Качественные показатели работы машины оценивались коэффициентом структурности почвы нижнего и верхнего слоев. Первый слой глубиной 0...0,5 см глубины обработки (поверхностный слой), второй – на глубине от 0,5 см глубины обработки ко дну борозды (нижний слой). Объектом исследования является обрабатываемый почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машиной слой почвы. В результате обработки которого происходит его расслоение. Исходная информация для обоснования исследования получена путем анализа литературных источников. Определено, что с ростом частоты вращения ротора коэффициент структурности почвы увеличивается, а динамика изменения коэффициента структурности почвы при линейном изменении частоты вращения ротора экспериментальной машины носит одинаковый характер. Актуальность состоит в том, что применение на комбинированной машине активного рабочего органа (ротора) позволяет за один проход агрегата обеспечить высокое качество обработки почвы, а взаимодействие активно-пассивных рабочих органов позволяет улучшить качество крошения пласта почвы.

Ключевые слова: ротор, структура, слой, состав, строение, машина, поверхность, обработка, качество, почва

Введение. Технологические операции обработки почвы при механическом воздействии на нее направлены на создание благоприятных условий для накопления и сохранения влаги, посева,

роста и развития растений.

Задачей предпосевной обработки почвы является рыхление верхнего слоя на глубину заделки семян, что обеспечивает мелкокомковатое строение посевного слоя, выравнивание поверхности поля, уплотнение ложа на глубине посева семян, заделку внесенных удобрений, контроль сорняков и сохранение влаги в обрабатываемом слое почвы. Обработка почвы также направлена на создание благоприятных условий для работы сельскохозяйственных машин на посевах, при уходе за посевами и уборке урожая.

Основная часть. Сроки и выбор соответствующей технологии обработки зависят не только от культуры, но и от состояния почвы. В Лесостепи Украины, например, преобладают черноземные почвы среднего и тяжело-суглинистого состава, которые могут накапливать большое количество влаги, но много ее теряют при испарении [1, 2].

По мнению Н.А. Кочинского, структура почвы в агрономическом отношении считается наиболее ценной, если она представлена механически прочными, водоустойчивыми и пористыми комочками размером от 0,25 до 10 мм [3].

Ученые, исследуя пахотный слой, доказали, что если водоустойчивых комочков размером более 0,25 мм находится не менее 40...45%, то показатели плотности, твердости, общей пористости и пористости аэрации находятся в оптимальных пределах. В черноземах пахотный слой таких комочков содержит 55...60% [4]. При таком соотношении структурных частиц растения эффективно используют влагу и элементы питания. Кроме этого, было установлено, что максимальный эффект урожайности сельскохозяйственных культур был получен при приблизительно равных размерах семян и частиц почвы семенного слоя, а верхний слой почвы, толщиной до 4 см, должен иметь более крупные частицы почвы размером от 5 до 20 мм [5, 6, 7, 8].

Исследования многих ученых доказывают, что если в пахотном слое почвы 40...45% агрономически ценных комочков, то его плотность, твердость и пористость находятся в оптимальных пределах.

В зоне лесостепи Украины преобладают тяжелые суглинистые черноземы, которые способны накапливать большое количество влаги. В составе таких почв находится 55...65% агрономически ценных комочков.

В лесостепной зоне Украины в период выращивания сельскохозяйственных культур наблюдается большая неравномерность выпадения атмосферных осадков. В период засушливого сезона плотность почвы становится выше, почва трескается и образуются глыбы значительных размеров, что требует дополнительной обработки почвы, направленной на его крошение. В такой период минимальное

испарение влаги может быть обеспечено при достаточном крошении почвы, когда поверхностный его слой состоит из частиц размером 0,5...5 мм [9]. Но частицы такого размера могут легко выдуваться ветрами, что приводит к эрозии почвы. Поэтому следует учитывать, что для обеспечения стойкости почвы к эрозиям поверхностный слой должен иметь комочков диаметром больше 1 мм более 50% [10, 11].

В условиях влажного года в пахотном слое почвы находится максимальное количество агрономически ценных комочков. Однако вследствие действия атмосферных осадков, поверхностный слой также теряет более крупные комочки. В этот период возникает необходимость в механической сепарации почвы, направленной на структурное перераспределение частиц по её слоям [6].

Изучением влияния на урожайность сельскохозяйственных культур соотношения структурных частиц и допустимых норм их содержания занимались В.Р. Вильямс, П.А. Некрасов, П.А. Пигуевский и др. В последующих опытах, которые проводил В.В. Медведев, был установлен наиболее благоприятный механический состав почвы, который обеспечивает растения питательными веществами и влагой. При этом комочков почвы размером 5...20 мм должно находиться приблизительно 20...25%, агрономически ценных комочков размером 0,25...5,0 мм – 60...65% и не больше 15% комочков меньше 0,25 мм [6].

Известна почвообрабатывающая рыхлительно-сепарирующая машина для оптимизации физико-механических свойств обрабатываемого слоя почвы [12,13].

Работает машина следующим образом. Плоскорежущая лапа (лемех), подрезает пласт почвы и подает его на сепарирующую решетку. Ножи ротора захватывают почву, перемещают её по сепарирующей решетке с одновременным её крошением. Мелкие комочки почвы проходят через зазоры сепарирующей решетки, крупные – ножами ротора перемещаются в верхние слои почвы. В результате сепарации обрабатываемого слоя почвы происходит дифференциация его по структурному составу.

Применение на комбинированной машине активного рабочего органа (ротора) позволяет за один проход агрегата обеспечить высокое качество обработки почвы. А взаимодействие активно-пассивных рабочих органов позволяет улучшить качество крошения пласта почвы с одновременным снижением энергетических затрат. Активные рабочие органы крошат пласт почвы, перемещают ее по сепарирующей решетке, перераспределяя по структуре, тем самым обеспечивают в зоне заделки семян мелкокомковатую структуру (рис. 1).

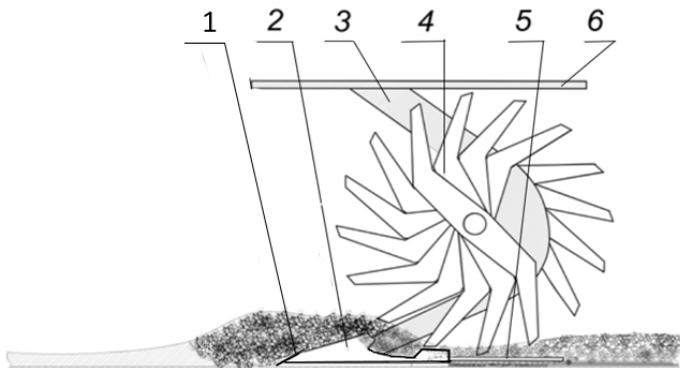


Рисунок 1 - Принципиальная схема машины: 1 – наральник; 2 – лемех с загнутыми концами крыльев; 3 – стойка; 4 – рабочий орган ротора; 5 – сепарирующая решетка; 6 – рама

Расположение ножей на валу ротора влияет на изменение приводного момента и равномерность хода машины.

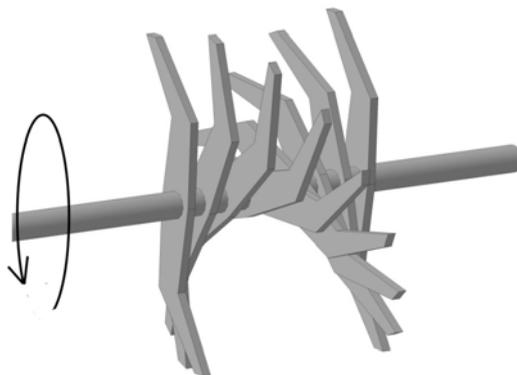


Рисунок 2 - Ротор почвообрабатывающей машины

В табл. 1. показана последовательность вступления в работу ножей и угол смещения между ними, в зависимости от числа ножей ротора.

Поэтому ножи размещены на валу по винтовой линии с числом заходов, равным числу ножей на валу, причем начало первой винтовой линии должно совпадать в противоположной части вала с концом второй винтовой линии и т.д. Кроме того ножи необходимо располагать равномерно по всей окружности вала с угловым расстоянием между смежными ножами $\alpha_z = 360^\circ/2s$, где s – число ножей. Размещение ножей по спирали с постоянным угловым шагом

симметрично относительно продольной оси машины дает возможность исключения крутящих моментов в поперечной плоскости, способных нарушить устойчивость хода машины в направлении движения и по глубине.

На рис. 2 рассмотрен пример размещения 18 ножей закрепленных по парам симметрично относительно продольной оси.

Таблица 1. Последовательность вступления в работу ножей и угол смещения между ними, в зависимости от числа ножей ротора

Число ножей ротора s	Угол смещения между смежными ножами α_z	Последовательность вступления в работу ножей
5	$35^\circ 0'$	1 – 4 – 2 – 5 – 3
7	$25^\circ 42'$	1 – 5 – 2 – 6 – 3 – 7 – 4
8	$33^\circ 45'$	1 – 4 – 7 – 2 – 5 – 8 – 3 – 6
9	$20^\circ 0'$	1 – 6 – 2 – 7 – 3 – 8 – 4 – 9 – 5

Приведенный выше анализ показывает, что определенному числу ножей соответствует вполне определенный угол смещения и последовательность вступления в работу.

Уменьшение или добавление ножей без изменения расстановки может привести к ухудшению устойчивости движения машины и увеличению неравномерности крутящего момента.

Из литературных источников известно, что затраты энергии на привод ротора будут минимальными при наименьших значениях его радиуса и угловой скорости вращения, которые допускаются поступательной скоростью движения машины и агротехническими требованиями [13, 15, 16, 17].

В нашей комбинированной машине мелкокомковатое строение почвы в зоне заделки семян обеспечивается путем перераспределения ее частиц по глубине посевного слоя, что исключает необходимость интенсивно крошить почву. Следовательно, в данном случае ограничения минимальной угловой скорости вращения ротора, предъявляемые агротехническими требованиями, можно не учитывать.

Нож ротора в момент входа в почву не должен препятствовать движению ее по сепарирующей решетке (рис. 3).

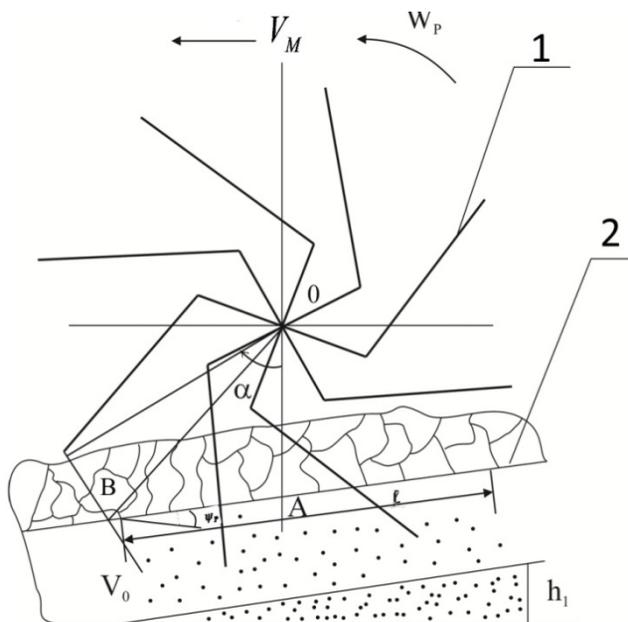


Рисунок 3 - Схема для определения параметров рыхлительно-сепарирующих рабочих органов: 1 – рабочий орган ротора; 2 – сепарирующая решетка

Для этого должно соблюдаться условие:

$$V'_0 \geq V_{II},$$

где V'_0 – проекция окружной скорости движения ножа ротора на поверхность движущейся сепарирующей решетки, м/с; V_{II} – скорость движения почвы относительно сепарирующей решетки, м/с.

При этом
$$V'_0 = V_0 \cdot \cos(\alpha_1 + \psi_p),$$

где V_0 – окружная скорость движения ножа ротора, м/с; ψ_p – угол наклона сепарирующей решетки.

Исходя из условия непрерывности движения почвы по сепарирующей решетке, можно записать

$$V_{II} = \frac{V_M}{\cos \psi_p}.$$

Тогда после соответствующих преобразований получим

$$n \geq \frac{V_M}{2\pi R \cdot \cos(\alpha_1 + \psi_p) \cdot \cos\psi_p} \quad (1)$$

где n – частота вращения ротора, с^{-1} .

Для проведения экспериментов в полевых условиях установка агрегатировалась с сельскохозяйственным трактором общего назначения Т-150К-08 (рис. 4). Она представляет собой жесткую раму с навесным устройством. По обе стороны рамы расположены металлические опорные колеса с механизмами регуляции глубины обработки почвы. В задней части рамы находится ротор, состоящий из четырех частей. Опорами ротора служат подшипниковые опоры на краях рамы и редуктора в ее центре.



Рисунок 4 - Общий вид экспериментальной полевой установки для оптимизации физико-механических свойств почвы

Привод ротора осуществляется от вала отбора мощности трактора, который настраивается на частоту вращения 540 об/мин. При этом частота вращения ротора изменяется с помощью двухступенчатого редуктора и регулированием частоты вращения коленчатого вала двигателя в пределах от 1000 до 2100 об/мин. Крутящий момент от вала отбора мощности к ротору рыхлительно-сепарирующего устройства передается через предохранительную фрикционную муфту (рис. 5) и конически-цилиндрический двухступенчатый редуктор (рис. 6). Передаточное отношение редуктора может устанавливаться 4 : 1 или 5 : 1.



Рисунок 5 - Предохранительная фрикционная муфта



Рисунок 6 - Конически-цилиндрический двухступенчатый редуктор

Ротор представляет собой трубу, на которую приварены ножи-сепараторы с шагом в 50 мм (рис. 7). В передней части рамы расположены подрезающе-подъемные рабочие органы. Они представляют собой плоскорежущую стрельчатую лапу с углом крошения 15° с загнутыми концами крыльев. Указанные крылья приварены к кронштейну с наральником. Кронштейн надет на чизельную стойку и зафиксирован на ней одним винтом для предотвращения спадания рабочего органа. К крылу плоскорежущей стрельчатой лапы приварены прутья сепарирующей решетки с таким

шагом, чтобы ножи-сепараторы ротора входили между прутьями сепарирующей решетки.



Рисунок 7 - Ротор экспериментальной почвообрабатывающей машины

Физико-механические свойства почвы при проведении экспериментов определялись в соответствии с ОСТ 70.2.15-73, влажность почвы – методом термической сушки в пятикратной повторности. Образцы почвы массой 0,03...0,04 кг укладывались в алюминиевые стаканчики, взвешивались и сушились в шкафу при температуре 105°C в течение восьми часов. После сушки образцы почвы снова взвешивались и влажность почвы определялась по формуле

$$W_a = \frac{m_g - m_c}{m_c} \cdot 100\% ,$$

где m_g , m_c – соответственно масса влажной и сухой почвы, кг.

Твердость почвы определялась с помощью твердомера ВИСХОМа в пятикратной повторности, плотность – в трехкратной повторности методом режущего кольца, по Н.А. Кочинскому [3].

Для определения структурно-агрегатного состава почвы использовался метод просеивания ее на ситах с круглыми отверстиями. При этом проба бралась в трехкратной повторности массой не менее 2,5 кг, доводилась до воздушно-сухого состояния и просеивалась через сита путем их покачивания. Распределенная на ситах почва взвешивалась и вычислялась относительная масса каждой фракции по формуле

$$\Phi = \frac{m}{M} \cdot 100\% ,$$

где m – масса фракции, кг;
 M – масса поступившего на анализ образца, кг.
Коэффициент структурности почвы вычисляли по формуле

$$K_{\text{стр}} = \frac{K_{10-0,25}}{K_{>10} + K_{<0,25}},$$

где $K_{10-0,25}$ – процент содержания агрономически ценных фракций почвы в пробе;

$K_{>10}$, $K_{<0,25}$ – процент содержания фракций почвы в пробе, соответственно больше 0,25 мм и меньше 10 мм.

Качественные показатели работы почвообрабатывающей машины изучались в зависимости от частоты вращения ротора при постоянном значении его кинематического параметра, скорости движения агрегата на двух уровнях частоты вращения ротора и глубины обработки. Качественные показатели работы машины оценивались коэффициентом структурности почвы на глубине обработки нижнего и верхнего слоев.

Для опыта мы выбрали участок поля, не обработанный после сбора зерновых культур, относительно ровный, со следами зерноуборочного комбайна по поверхности почвы. Валок соломы, образованный комбайном, был незначительных размеров, а стерня, оставленная после прохода комбайна, имела высоту около 15 см. Для выравнивания условий в эксперименте разбивали участки вдоль движения комбайна между следами колес.

Чтобы определить сепарирующую способность экспериментальной полевой установки, пробы почвы брали на двух уровнях по глубине обработки почвы. Для этого слой обработанной почвы после прохода экспериментальной установки был разделен на два горизонта по глубине. Первый горизонт глубиной 0...0,5 см глубины обработки (поверхностный слой), второй – на глубине от 0,5 глубины обработки до дна борозды (нижний слой). Пробы почвы брали в одном месте одна за другой по слоям: снимали сначала верхний слой, затем нижний.

Условием для определения влияния изменения частоты вращения ротора экспериментальной машины на качественные показатели обработки почвы было сохранение постоянного значения кинематического параметра экспериментальной полевой установки при постоянной глубине обработки почвы и при изменении частоты вращения ротора.

Для обеспечения постоянного значения кинематического

параметра пропорционально изменяли величины частоты вращения ротора экспериментальной машины и ее линейной скорости. Для этого в условиях независимого привода вала отбора мощности трактора Т-150К-09 был проведен опыт на фиксированной передаче трансмиссии трактора с изменением при этом частоты вращения коленчатого вала двигателя. Были выбраны фиксированные значения частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора, равномерно распределенные по диапазону частоты вращения от холостого хода к номинальной частоте вращения. В соответствии со значением этих величин пересчитаны значения угловой скорости ротора экспериментальной полевой установки и ее линейной скорости. После этого были определены значения кинематического параметра для каждого конкретного случая. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения кинематического параметра при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора

Частота вращения коленвала $n_{об}$, c^{-1}	Частота вращения ротора n , c^{-1}	Соответствующие скорости, м/с		Кинематический параметр $\frac{V_0}{V_M} = \lambda_k$
		окружная скорость вращения ротора, V_0	линейная скорость машины, V_M	
16,7	1,58	3,60	0,440	8,18
21,7	2,07	4,70	0,573	8,20
26,7	2,53	5,77	0,705	8,18
31,7	3,02	6,87	0,830	8,28

Из таблицы видно, что кинематические параметры ротора экспериментальной машины остаются практически неизменными во всем диапазоне частоты его вращения. Незначительные колебания конечного результата связаны с неточностями при расчетах и влиянием таких посторонних факторов при выполнении опыта, как пробуксовка колёс трактора и др.

Критерием оценки влияния частоты вращения ротора экспериментальной машины на качественные показатели обработки почвы машиной был коэффициент структурности почвы. Для определения коэффициентов структурности было проведено четыре повторности опыта при разных частотах вращения ротора экспериментальной машины: 1,58; 2,07; 2,53; 3,00 c^{-1} . При этом поступательная скорость движения подбиралась таким образом, чтобы кинематический параметр работы ротора был близким к постоянной величине. В пределах каждой повторности было взято по три пробы почвы в зоне рабочих органов. Пробы почвы брались в двух слоях обработанной почвы, которая разделялась по глубине на две равные части.

После составления таблиц и обработки данных подсчитаны средние значения коэффициентов структурности почвы, которые приведены в табл.3 Результаты эксперимента подтверждают выдвинутую ранее на основании исследований гипотезу о нецелесообразности повышения частоты вращения ротора для улучшения качества крошения почвы. Результаты эксперимента достоверны с вероятностью 95%, наилучшая существенная разница не превышает 0,102.

Таблица 3. Зависимость коэффициента структурности почвы от частоты вращения ротора

Частота вращения ротора n, c^{-1}	Номер повторности	Коэффициенты структурности	
		Верхний слой	Нижний слой
1,58	1	0,70	1,00
	2	0,60	1,10
	3	0,70	1,13
	Сред.	0,67	1,08
2,07	1	0,60	1,30
	2		1,30
	3	0,70	1,30
	Сред.	0,65	1,30
2,53	1	0,80	1,10
	2	0,60	1,26
	3	0,80	1,10
	Сред.	0,73	1,15
3,00	1	0,90	1,17
	2		1,50
	3	0,70	1,17
	Сред.	0,80	1,28

По полученным результатам опытов были построены графики (рис. 8, 9) влияния частоты вращения ротора экспериментальной машины на коэффициент структурности почвы.

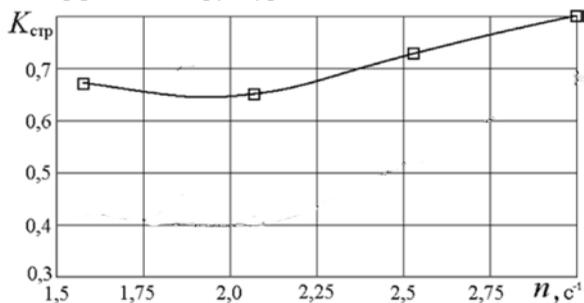


Рисунок 8 - Зависимость коэффициента структурности почвы от частоты вращения ротора в верхнем слое

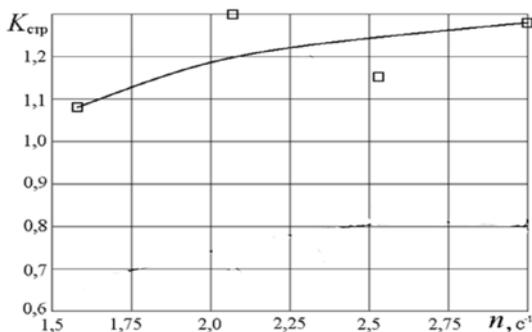


Рисунок 9 - Зависимость коэффициента структурности почвы от частоты вращения ротора в нижнем слое

Из графиков видно, что с ростом частоты вращения коэффициент структурности почвы увеличивается во всех контрольных точках эксперимента. Динамика изменения коэффициента структурности почвы при линейном изменении частоты вращения ротора в обоих случаях имеет вогнутый характер.

Вывод. Увеличение частоты вращения ротора экспериментальной машины способствует увеличению коэффициента структурности почвы, а динамика изменения коэффициентов структурности почвы по слоям при изменении частоты вращения ротора экспериментальной машины носит одинаковый характер.

Список использованных источников:

1. Моисеев К. Г. Определение удельной поверхности почв на основе величины гигроскопической влажности //Почвоведение. – 2008. – №. 7. – С. 845-849.
2. Медведев В. В. Агро-и экофизика почв //Харьков: ООО «Полосатая типография. – 2015.
3. Качинский Н.А. Структура почвы / Н.А. Качинский. – М.: МГУ, 1963. – 100 с.
4. Кузнецов Н. Г. Сохранение плодородия почвы при воздействии на нее ходовых систем тракторов и рабочих органов машин //Вестник сельскохозяйственной науки. – 1978. – №. 7-12.
5. Пащенко В.Ф. Предпосевная обработка почвы и выравнивание поверхности поля / В.Ф. Пащенко, П.И. Слободюк, К.И. Баглай // Информ. листок № 112–90 / ХЦНТИ.
6. Медведев В.В. Почвенно-экологические условия возделывания сельскохозяйственных культур / В.В. Медведев. – К.: Урожай, 1991. – 173 с.
7. Титовская А. И. Изменение структурного состояния почвы в зависимости от систем обработки // Вестник Курской государственной

сельскохозяйственной академии. – 2014. – №. 7.

8. Навольнева Е. В., Соловиченко В. Д., Ступаков А. Г. Изменение структуры почвы и её биологических свойств под влиянием агроприёмов // Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: Материалы XIX Международной научно-производственной конференции (Белгород, 24–26 мая 2015 г.). Том 1. Белгород: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2015.–243 с. – 2015. – С. 27.

9. Лазарев А. П., Митриковский А. Я. СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЛОТНОСТЬ ЧЕРНОЗЁМА ОБЫКНОВЕННОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ И ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ //Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 4. – С. 545-545.

10. Глухих М. А. Влага черноземов Зауралья и пути ее эффективного использования. – Directmedia, 2015.

11. Зайцева А. А. Борьба с ветровой эрозией почв //М.: Колос. – 1970. – С. 138.

12. Сыромятников Ю. Н. Повышение эффективности технологического процесса движения почвы по лемеху почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины //Сельское хозяйство. – 2017. – №. 1. – С. 48-55.

13. Сыромятников Ю.Н. Обоснование профиля лемеха с направляющими дисками почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины // Сельское хозяйство. — 2017. - № 2. - С.18-29.

14. Гильштейн П. М., Стародинский Д. З., Циммерман М. З. Почвообрабатывающие машины и агрегаты //М.: Машиностроение. – 1969.

15. Лімонт А. С. ЗУСИЛЛЯ, ЩО ДІЮТЬ НА РОБОЧІ ОРГАНИ, ТА СПОЖИВАНА ПОТУЖНІСТЬ МАШИН З АКТИВНИМ ПРИВОДОМ //Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2006. – №. 2 (37). – С. 9-15.

16. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1968. – 375 с.

17. Безруков А. В. и др. Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы //Труды ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 110. – С. 100.

Александр Владимирович Нанка, кандидат технических наук, доцент, Сыромятников Юрий Николаевич, аспирант, gara176@meta.ua, Украина, Харьков, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.М. Василенко

THE INFLUENCE OF THE ROTATION FREQUENCY OF THE ROTOR OF A TILLAGE MACHINE ON THE QUALITY OF ITS WORK

Nanka A.V., Syromyatnikov Yu.N.

Kharkov Petro Vasylenko National Technical University of
Agriculture

Abstract. The subject of the study are the qualitative indicators of the work of the rotary tiller ripping-separating machine. In the field conditions, the influence of the rotation frequency of the rotor of the tillage ripping-separating machine on the physical and mechanical properties of the soil after its treatment at a constant value of its kinematic parameter, the speed of movement of the aggregate, and the depth of processing was determined experimentally. The qualitative performance of the machine was evaluated by the coefficient of soil structure of the lower and upper layers. The first layer is 0 ... 0.5 cm deep (the surface layer), the second layer is at a depth of 0.5 cm from the depth of the treatment to the bottom of the furrow (bottom layer). The object of the study is a layer of soil processed by the soil cultivating ripping-separating machine. As a result of processing, its stratification takes place. The initial information for the study substantiation was obtained by analyzing the literature sources. It is determined that with the growth rate of the rotor the coefficient of soil structure increases, and the dynamics of the soil texture coefficient change with a linear change in the rotor speed of the experimental machine is the same. The actuality is that the use of an active working organ (rotor) on the combined machine allows for a high quality of soil treatment in one pass of the unit, and the interaction of active-passive working organs allows improving the quality of crumbling of the soil layer.

Key words: rotor, structure, layer, composition, structure, machine, surface, processing, quality, soil.

Nanka A.V., Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Syromyatnikov Yu.N., postgraduate, gara176@meta.ua, Ukraine, Kharkov, Kharkov Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Э.В. Карпович

Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина

Аннотация. В статье затрагиваются проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности человека в техносфере и его защиты от негативных воздействий антропогенного происхождения в условиях роста народонаселения и концентрации его и материальных богатств на сравнительно ограниченных территориях. Аргументируется приоритетность обеспечения безопасности жизнедеятельности, особенно в случае предпринимаемых попыток равномерного заселения всей территории нашей страны в противовес сложившейся ситуации с локализацией основной части населения в крупных промышленных центрах. Оговаривается необходимость базирования безопасности жизнедеятельности на качественной технической оснащённости для того, чтобы люди чувствовали себя полностью защищёнными в любой точке страны в абсолютно любой возможной ситуации. Показывается, что одну из важнейших ролей для обеспечения безопасности жизнедеятельности могут сыграть различные тепловые двигатели. Поиск новых решений в этой области и разработка новых концептов весьма успешно и широко ведётся во всём мире. В статье рассмотрены, проанализированы и обобщены современные технические решения применения тепловых двигателей для повышения безопасности жизнедеятельности в крупных городах и сельской местности. Уделено внимание возможностям их изготовления инженерами-механиками в условиях частных мастерских и в промышленном производстве. Описаны причины востребованности, актуальность и области применения разрабатываемых технических проектов и конструкций.

Ключевые слова: современные технические решения, актуальность, механические мастерские, инженер-механик, слесарная подготовка, реактивный двигатель, двигатель внутреннего сгорания, безопасность жизнедеятельности.

Введение. Безопасность жизнедеятельности (БЖД) – наука, изучающая различного рода опасности в техносфере и способы защиты от них [1]. Является составной частью системы государственных, социальных и оборонных мероприятий, проводимых в целях защиты населения и хозяйства страны от последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий, средств поражения противника. Важнейшей целью такой науки, как БЖД, является защита человека от негативных воздействий антропогенного и естественного происхождения и достижения комфортных или безопасных условий жизнедеятельности. В настоящее время наблюдается тревожная тенденция нарастания губительного воздействия антропогенных факторов, опасных природных явлений и процессов. При всей специфике ситуаций в конкретных странах и регионах они обусловлены ростом народонаселения, концентрацией его и материальных богатств на сравнительно ограниченных территориях, а также изменением характера генезиса природных катастроф. Вторгаясь в природу и создавая всё более мощные инженерные комплексы, человечество формирует новую, чрезвычайно сложную систему, включающую техносферу, закономерности развития которой пока неизвестны. Это приводит к увеличению неопределённости информации о функционировании техносферы, энтропийности процессов, которые в ней происходят, к возможности возникновения техногенных катастроф – серьёзных аварий в промышленности, энергетике, на транспорте, загрязнению биосферы отходами производства [1], угрожающими здоровью людей.

Обеспечение безопасности жизнедеятельности поэтому является одной из приоритетных задач, если добиваться равномерного заселения всей территории нашей страны, а не локализации основной части населения в крупных промышленных центрах. И она должна базироваться на качественной технической оснащённости, чтобы люди чувствовали себя защищёнными в любой ситуации в любой точке нашей страны. Очень важную роль для обеспечения безопасности жизнедеятельности играют тепловые двигатели.

Основная часть.

Актуальность поиска новых технических решений.

Продолжающийся рост крупных промышленных центров и улучшение благосостояния граждан приводят к непрерывному расширению разветвлённых сетей автомагистралей и увеличению трафика автомобильных потоков. Как следствие, пропорционально растут число и масштаб автомобильных пробок и аварий. Для снижения автомобильного трафика, борьбы с аварийностью и повышения безопасности движения в крупных городах несколько компаний по всему миру – Airbus, Intel, Lilium Aviation, Uber, Zee.Aero, Kitty Hawk,

Аеромобил, российский технопарк «Сколково» – ведут разработку летающих автомобилей и создания сети летающих такси (рис. 1а).



Рисунок 1 - Новые транспортные решения для крупных городов

Наиболее близким к реализации на сегодняшний день является проект словацкой компании Аеромобил. Предсерийная версия машины Аеромобил 3.0 – это полноценный самолёт, и в то же время – автомобиль с гибридной силовой установкой (рис.1б). Конечно же, такое техническое решение с использованием тепловых двигателей пригодно для реализации только в крупных городах с широкой сетью идеальных дорог и пригодных для посадки мест. В сельских же областях нашей огромной страны, наоборот, стремятся к увеличению автомобильного трафика на далёких от идеальности дорогах.

Так как в сельской местности довольно часто отсутствуют дороги хорошего качества, становится очевидным, что в этом случае целесообразно уделить внимание разработке иного направления поиска средств передвижения на тепловых двигателях для реализации безопасности жизнедеятельности. Речь идёт о компактных мобильных персональных средствах воздушного передвижения, использующих реактивные, турбореактивные двигатели и двигатели внутреннего сгорания. Жители сельских районов, особенно на значительном удалении от крупных городов, едва ли не больше, чем кто-либо другой, нуждаются в осознании собственной защищённости и понимании того, что помощь им придёт и будет оказана вовремя. В труднодоступных областях, запущенных районах, а также во время чрезвычайных ситуаций и природных катаклизмов летающие такси, требующие специально оборудованных баз, будут абсолютно непригодными, а значит, невостребованными. В этих случаях нужны

более простые и более мобильные персональные средства передвижения на тепловых двигателях, менее прихотливые, более компактные, надёжные и не требующие специально оборудованных мест для посадки. Такими персональными средствами для оказания помощи населению станут реактивные ранцы и сверхлёгкие летательные аппараты. Вот лишь некоторые из потенциально многочисленных причин их востребованности. Это полное отсутствие сообщения с обособленно расположенными поселениями, непригодные для передвижения дороги, полуразрушенные мосты, труднопроходимая местность, природные катаклизмы. В силу непредсказуемо меняющихся сегодня климатических условий во многих уголках нашей планеты, применение персональных летательных аппаратов для обеспечения безопасности жизнедеятельности становится всё более актуальным.

Реактивный ранец – персональный летательный аппарат, носимый на спине, позволяющий человеку подниматься в воздух посредством реактивной тяги, создаваемой за счёт выбрасываемой двигателем вертикально вниз реактивной струи. Различают два основных типа реактивных ранцев: ранец с ракетным двигателем, ранец с турбореактивным двигателем.

Ранец с ракетным двигателем [2]. Ракетные ранцы просты по конструкции, поэтому они получили наибольшее распространение. Классический ракетный ранец можно изготовить даже в условиях частной мастерской, хотя для этого требуются хорошая инженерная подготовка и высокий уровень слесарного мастерства. Главные недостатки ракетного ранца – малая продолжительность полёта и большой расход дефицитного топлива – пероксида водорода. Эти обстоятельства ограничивают сферу применения ракетных ранцев эффективными публичными полётами (рис.2а).

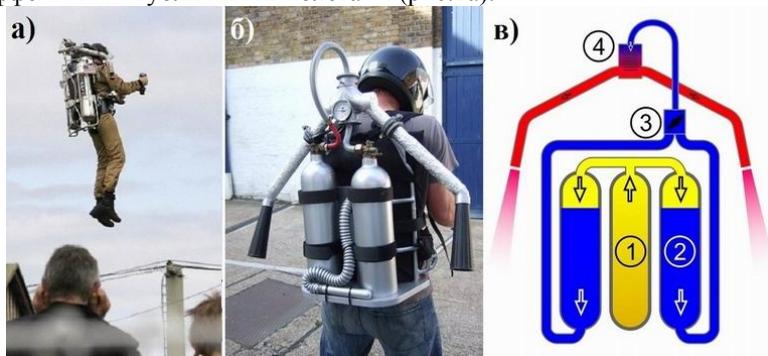


Рисунок 2 - Ракетный ранец

В последние годы ракетный ранец всё более популярен у энтузиастов, изготавливающих его самостоятельно (рис.2б). Двигатель ракетного ранца работает на вытеснительной системе подачи топлива (рис.2в). На рисунке обозначены баллоны с перекисью водорода и баллон со сжатым азотом под давлением около 40 атм. Пилот поворачивает рукоятку управления тягой двигателя, и клапан-регулятор (3) открывается. Сжатый азот (1) вытесняет жидкую перекись водорода (2), которая по трубкам поступает в газогенератор (4). Там она вступает в контакт с катализатором – тонкими серебряными пластинами, покрытыми слоем нитрата самария – и разлагается. Образовавшаяся парагазовая смесь высокого давления и температуры поступает в две трубы, выходящие из газогенератора, покрытые слоем теплоизолятора для сокращения потерь тепла. Затем горячие газы поступают в реактивные сопла Лавалья, где приобретают сверхзвуковую скорость и создают реактивную тягу. Конструкция проста и надёжна, ракетный двигатель имеет минимум подвижных частей.

Ранец с турбореактивным двигателем [3]. Ранцы с турбореактивными двигателями (рис.3а) работают на керосине, имеют более высокий КПД, чем у ракетного ранца, большие высоту и время полёта, но они сложны по конструкции и дороги. Изготовить такой ранец в кустарных условиях невозможно даже хорошему инженеру-механику. Он сложен в эксплуатации и небезопасен – при повреждении двигателя лопадки турбин могут разлететься с высокими скоростями, угрожая жизни пилота.



Рисунок 3 - Турбореактивный ранец



Рисунок 4 - Ранец с ДВС

Управление турбореактивным ранцем (рис.3б,в) схоже с управлением ракетным ранцем. Маневрирование выполняется отклонением управляемых сопел. Запускается реактивный двигатель

пороховым пиропатроном. На ранце установлен десантный запасной парашют, эффективный при открытии на высоте более 30 метров.

Ранец с двигателем внутреннего сгорания. Новозеландская частная компания Martin Aircraft с главным конструктором Гленном Мартином (рис.4а) разработала персональный сверхлёгкий летательный аппарат вертикального взлёта и посадки Martin Jetpack. Движители у него – воздушные винты малого диаметра в кольцевых каналах, вращаемые двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Сначала была спроектирована и успешно испытана ранцевая модель (рис.4б), позднее появилась рамная конструкция с местом для пилота (рис.4в), которая с успехом прошла все испытания (рис.4г). Аппарат относится к классу сверхлёгких и не требует пилотской лицензии для выполнения полётов. Двухтактный двигатель внутреннего сгорания работает на бензине. Важно, что в отличие от других устройств типа «реактивный ранец» Martin Jetpack готов к практическому применению, а компания Martin Aircraft готова поставлять эти аппараты на рынок.

Анализ характеристик и перспектив реактивных ранцев.

Рассмотрены различные конструкции ранцевых летательных аппаратов с тепловыми двигателями, находящиеся на разных стадиях улучшения конструкций. Поэтому естественным образом встаёт вопрос об их сравнении, предпочтениях и перспективах ближайшего рационального использования. Совокупность важнейших эксплуатационных и инженерно-технических характеристик представлена таблице.

Таблица 1 - Сравнение характеристик реактивных ранцев

Характеристика ранца	Ракетный ранец	Турбореактивный ранец	Ранец с ДВС
Время полёта	до 30 сек.	до 25 мин.	до 30 мин.
Тяга двигателя	145 кгс	195 кгс	Винтовой двигатель
Дальность полёта	до 760 м	Не вычислялась	Не вычислялась
Высота полёта	до 76 м	около 100 м	до 2,5 км
Скорость (max)	124 км/ч	135 км/ч	100 км/ч
Топливо	Пероксид водорода	Керосин	Бензин
Кустарное изготовление	Возможно	Невозможно	Возможно
Практическое применение	Локальное	Требует доработки	Готово
Перспективные направления совершенствования аппаратов	Увеличение времени полёта, снижение расхода топлива	Уменьшение массы, упрощение эксплуатации, повышение безопасности	Снижение массово-габаритных характеристик

Анализируя данные в таблице, можно сделать следующие выводы. Ракетные ранцы просты и надёжны, но дефицитное топливо и малое время работы предполагают их использование в военной области. Турбореактивные ранцы работают на традиционном топливе и достаточное время. Широкому их распространению мешают относительная сложность, дороговизна и небезопасность пилота при поломке двигателя. Это изживаемые недостатки, поэтому применение турбореактивных ранцев в будущем возможно для различных целей в военной и гражданской областях. Персональные аппараты с ДВС отличаются привычным топливом, простотой конструкции, длительным временем работы и значительной предельной высотой. Учитывая, что обе модификации аппарата готовы к серийному производству, можно обсуждать их широкое использование для выполнения различных задач в военном деле, в агропромышленном комплексе и для обеспечения безопасности жизнедеятельности во всех сферах.

Планируемое применение реактивных ранцев для БЖД.

Простота и надёжность ракетных ранцев, высокий КПД, традиционное топливо и большое время работы турбореактивных ранцев допускают их конкуренцию с ранцами на ДВС. Поэтому американские военные ведомства проявляют интерес к переносным летательным аппаратам. Управление транспортных исследований армии США полагает, что реактивные ранцы найдут самое разнообразное применение: для разведки, форсирования рек, высадки морских десантов, подъёма на крутые горные склоны, преодоления минных полей, тактического маневрирования и многого другого. Концепция получила название «Малое ракетное подъёмное устройство». В странах Западной Европы также проявляют немалый интерес к этим техническим решениям. Причём в западноевропейских странах очень широко рассматривается именно их гражданское применение.

Очень широко обсуждается использование персональных реактивных аппаратов для обеспечения безопасности жизнедеятельности. Например, для чистки и осмотра плотин, огромных современных аттракционов для диагностики возможных проблем их состояния. Промышленные техногенные катастрофы из-за усталости металлоконструкций на таких объектах имеют ужасающие последствия и многочисленные жертвы. При аварии на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 году погибли 75 человек. На разнообразных экстремальных аттракционах во всём мире погибает до 25000 человек в год. Эффективно применение реактивных ранцев при пожаротушении. Пожарники с их помощью могут тушить пожары в небоскрёбах. Огромная польза будет при оказании помощи для эвакуации людей при пожарах в высотных зданиях. Большой

эффективности ждут от применения реактивных ранцев для оказания врачами неотложной помощи больным опять же в условиях небоскрёбов. Помогут они врачам и в сельской местности, учитывая, порой, полное отсутствие дорог и транспорта. В сельских районах, кроме медицинской помощи людям, возникает потребность и в срочной ветеринарной помощи животным. Реактивные ранцы могут сыграть огромную роль в экстренной службе спасения для мобильности, быстроты ликвидации угрозы чьей-то жизни, срочной доставки антисептиков, противоядий, при несчастных случаях в труднодоступных районах. Полезными они будут для оказания помощи при спасении на воде (рис.3в), для поиска потерявшихся в лесах, в горной местности, труднопроходимых и труднодоступных районах. Планируют оснастить ранцами антитеррористические подразделения, экипировать ими полицейские службы для быстрого реагирования и устранения угрозы жизни людей. Найдут применение ранцы в различных службах технической поддержки, для диагностики состояния архитектурных памятников, огромных статуй, башен, а также для осмотра и оценки состояния фасадов многоэтажных отелей и многочисленных деловых небоскрёбов для предотвращения их обрушения или создания опасных для жизни прохожих ситуаций. В труднодоступных районах островных государств необходимо проводить исследования для оценки рисков и возможного ущерба от тропических штормов и связанных с ними наводнений. Для этих целей также можно использовать ранцевые реактивные летательные аппараты. Видеозаписи, сделанные с их помощью (рис.3б), обеспечат быстрое получение нужной информации.

Многообразие применения тепловых двигателей для БЖД. Использование реактивных двигателей в ранцевых аппаратах применение тепловых двигателей для БЖД не ограничивается, поэтому небезынтересно рассмотреть и другие технические решения.



Рисунок 5 - Применение реактивных двигателей для БЖД

Кроме реактивных ранцев разрабатываются также крылатые ранцы с реактивными двигателями – реактивные ранцы-крылья. Они не могут стартовать с земли, а для приземления используется парашют, однако они позволяют находиться в полёте около 10 минут, выполнять различные фигуры пилотажа и приземляться на расстоянии десятков километров от места старта. Летящий ранец Jetman (рис.5а), работая на керосине, может разогнаться до 300 км/ч и подниматься на высоту до 792 метров. Выполненный на базе беспилотного самолёта-разведчика персональный летательный аппарат «Грифон» (рис.5б) развивает скорость свыше 200 км/ч и может нести до 50 кг полезной нагрузки, не считая массы самого пилота. В несколько раз большая, чем у бескрылых ранцев, скорость и огромный радиус действия позволяют говорить о возможности использования крылатых ранцев для выполнения многих из описанных выше задач в условиях острого дефицита времени и значительной удалённости от объекта, особенно при сложном рельефе местности.

Реактивные двигатели лежат в основе конструкций всех катапульт боевых истребителей для спасения жизни лётчиков при возникновении аварийных или нештатных ситуаций. Необходимым и крайне важным является применение реактивных двигателей малой тяги во время космических полётов для передвижения и корректировки ориентации как космических кораблей, орбитальных модулей, так и возможных индивидуальных устройств (рис.5в) для открытого космоса.

Успешно функционирует реактивный ранец Jetlev (рис.5г), работающий на воде. Он задумывался не как транспортное средство, а как аппарат для активного отдыха. Конструкция реализована без теплового двигателя, поэтому в нём нет раскалённых реактивных струй, и подняться на нём можно не более чем на 15 метров и только вблизи поверхности воды. Тем не менее, ранец работает по принципу реактивного движения, и он мог бы оказаться очень полезным для оказания помощи на воде в межостровной зоне и вдоль береговой линии. Кроме того, такой ранец может быть весьма продуктивным в труднодоступных районах островных государств при проведении исследований для оценки рисков и возможного ущерба от тропических штормов, о чём говорилось чуть выше. Водный ранец дешевле теплового и уже весьма активно эксплуатируется.

Смертельную опасность таит обледенение взлётно-посадочных полос в аэропортах в зимний период. Множественные катастрофы по этой причине унесли не одну тысячу жизней. Тепловые двигатели помогают решить эту задачу с помощью аэродромной машины ДЭ-229 (рис.5д) с авиационным реактивным двигателем [4]. Сегодня применяют компактные аэродромные автомобили «Урал» с

реактивными двигателями (рис.5е) для удаления с бетонных покрытий аэродромов влаги, снега и гололёдных образований. Эффективна эта российская разработка и для содержания в чистоте палубы авианосцев.

Заключение. Очевидно, что тепловые двигатели как универсальные теплоэнергетические устройства будут востребованы во всё более широком диапазоне применения. От движения транспортных средств до применения их для выработки электроэнергии с помощью МГД-генераторов, в ремонтно-восстановительных работах агротехники для газоплазменного напыления металлов и в терморезущих приспособлениях [5], для совершенствования существующих теплоэнергетических конструкций и для прогнозирования принципиально новых концептов и технических решений. Достижение потоком продуктов сгорания сверхзвуковой скорости истечения с помощью сопла Лавала применяется во многих технических решениях для БЖД. Теоретические основы для этого закладываются в важнейшем разделе «Термодинамика открытых систем» в курсах теплофизики и теплотехники, изучаемых специалистами в области БЖД. Анализ разнообразных конструкций, обсуждение перспектив их использования на занятиях по этим сложным базовым техническим дисциплинам сделает образовательный процесс максимально разносторонним [6], интерактивным [7,8], практически направленным [9,10] и вызовет большой интерес при изучении этих принципиально необходимых дисциплин, а также побудит молодых учёных к более разносторонним научным исследованиям и техническим изысканиям в данной области.

Список использованных источников:

1. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность). [Текст] - 2-е издание, испр. и доп. - М.: «Юрайт», 2011.- 680 с.
2. Дорофеев А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчёт и проектирование: учебник [Текст] – 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.– 571 с.
3. Шляхтенко С.М., Сосунов В.А. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей [Текст] - М.: Машиностроение, 1979. - 432 с.
4. Кулагин В.В. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Учебник [Текст] - М.: Машиностроение, 2003. - 616 с.
5. Карпович Э.В., Поляев В.М. Разработка и проектирование малогабаритного терморезака // Известия вузов. Машиностроение.– 1994.– №7-9.– С.82-83.

6. Карпович Э.В. Интерактивные методы обучения теплотехнике и теплофизике // Перспективное развитие науки, техники и технологий: материалы 3-й Международной научно-практической конференции.– Курск, 2013.– С.118-121.

7. Карпович Э.В. Интерактивные методы обучения теплотехнике // Инновации в образовании: материалы V Международной научно-практической конференции.– Орёл, 2013.– С.153-155.

8. Карпович Э.В. Интерактивные методы обучения теплотехнике и технической термодинамике // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ.– 2016.– Спецвыпуск №2.– URL <http://e-journal.omgau.ru/index.php/spetsvypusk-2/31-spets02/413-00162>. - ISSN 2413-4066.

9. Карпович Э.В. Интерактивные формы обучения теплотехнике в аграрном вузе // Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции: XI Международный научно-практический семинар.– Орёл, 2012.– С.71-76.

10. Карпович Э.В. Использование интерактивных методов обучения теплотехнике бакалавров агроинженерного профиля // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов.- Саранск, 2017.- С.721-725.

*Эдуард Владимирович Карпович, кандидат технических наук,
karpovich.ed@yandex.ru, Россия, Орёл, Орловский государственный
аграрный университет им. Н.В. Парахина*

HEAT ENGINES FOR LIFE SAFETY

Karpovich E. V.

Abstract. The article touches upon the problems of ensuring the safety of human life in the technosphere and its protection from the negative effects of anthropogenic origin in terms of population growth and concentration of its material wealth in relatively limited areas. The priority of ensuring the safety of life is argued, especially in the case of attempts to evenly settle the entire territory of our country in contrast to the current situation with the localization of the main part of the population in large industrial centers. It stipulates the need to base the safety of life on high-quality technical equipment in order to make people feel completely protected anywhere in the country in absolutely every possible situation. It

is shown that one of the most important roles to ensure the safety of life can play a variety of heat engines. The search for new solutions in this area and the development of new concepts has been very successful and widespread throughout the world. The article considers, analyzes and summarizes modern technical solutions for the use of thermal engines to improve the safety of life in large cities and rural areas. The attention is paid to the possibilities of their production by mechanical engineers in private workshops and in industrial production. The reasons for the demand, relevance and application of the developed technical projects and designs are described.

Key words: modern technical solutions, relevance, mechanical workshops, mechanical engineer, locksmith training, jet engine, internal combustion engine, life safety.

*Karpovich E.V., Candidate of Technical Science,
karpovich.ed@yandex.ru, Russia, Orel, Orel State Agrarian University
named of N.V. Parakhin*

УДК 51-74

**РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ВЕБСТЕРА ДЛЯ
ПЕРЕХОДНИКОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ**

Т.А. Павлова, М.Н. Уварова

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В.
Парахина

Аннотация. Переходники для труб - это соединительные элементы, изготавливаемые из разных материалов, которые используются для стыковки труб в трубопроводных конструкциях различного назначения. [1, 9] Использование таких изделий происходит в таких трубных коммуникациях, как водопроводы, теплопроводы, газопроводы, канализационные системы, дымовые и вентиляционные трубопроводы. Для каждой коммуникации своя форма такого переходника и обычно она зависит от формы и размеров сопрягаемых труб.

В задачах распространения интенсивного звука, в концентраторах и других волноведущих системах возникает уравнение типа Вебстера:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = c^2 \frac{d \ln S(x)}{dx} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\varepsilon}{c^2 \rho} \frac{\partial^2 p^2}{\partial t^2} + \frac{b}{\rho} \frac{\partial^3 p}{\partial x \partial t^2}$$

Уравнение Вебстера используют еще и при расчетах акустического поля в неоднородных средах в приближении геометрической акустики. Так же это уравнение позволяет изучать задачи распространения звуковых волн конечной амплитуды в поглощающих средах. [2, 8, 10]

В литературе встречаются несколько подходов к решению акустического распространения волны в излучателе с переменным поперечным сечением. Если поперечное сечение такого излучателя расширяется, амплитуда уменьшается, в то время как, если излучатель становится более узким, происходит увеличение в плотности потока энергии. Рэлей и Вебстер независимо друг от друга первыми получили приближение плоской волны для акустического распространения в круглом с изменяющимся сечением излучателе. Это уравнение может быть решено для некоторых форм типа показательного, конического, параболического, катеноидного и

синусного, но во многих случаях аналитическое решение не может быть найдено.

Ключевые слова. Математическая модель, математическое моделирование, профиль, переходник, косинусный излучатель.

Введение. В излучателе конечной длины происходит отражение от его открытого конца, которое заставляет отраженную волну распространяться в обратном направлении по оси. Существует два подхода для решения уравнения Вебстера, которые рассматривают электрический аналог и особенности дифференциального уравнения. [3, 5, 7]

Технология решения этой задачи включает разбиение излучателя на множество элементов имеющих коническую форму, которые в совокупности приблизительно совпадают со стенками излучателя. В этом подходе решение для акустического давления является результатом суммирования полиномов Лежандра и сферических функций Ханкеля. Другой подход состоит из использования цилиндрических элементов, которые дают осевое давление в условиях Бесселевых функций, что вносит в расчеты определенные погрешности. В данной работе предлагается метод, не требующий разбиений и аппроксимаций.

При рассмотрении колебаний акустических систем (излучателей, рупоров, труб, горнов и т.п.) важной характеристикой является понятие акустического импеданса, который представляет собой комплексное сопротивление. Акустический импеданс есть отношение комплексных амплитуд звукового давления и объемной скорости частиц среды (последняя равна произведению усредненной по площади колебательной скорости на площадь, для которой определяется акустический импеданс). Для излучающих систем от этой характеристики зависят мощность излучения и условия согласования со средой.

Ранее исследования импеданса для излучателя, имеющего форму косинуса, получены с использованием ВКБ приближения для решения волнового уравнения Вебстера. Однако, возможно более точное разрешение данного вопроса.

Приведем результаты, полученные для уравнения Вебстера с помощью ВКБ приближения и с применением асимптотического метода интегрирования уравнений механики неоднородных тел.

Комплексный акустический импеданс можно разделить на вещественную и мнимую части, получая при этом активную и реактивную составляющие. Первое связано с трением и потерями энергии на излучение звука акустической системой, а второе – с реакцией сил инерции (масс) или сил упругости (гибкости).

Следовательно, реактивное сопротивление бывает инерционное или упругое. Импеданс определяется отношением действующей со стороны среды силы к колебательной скорости поверхности, т.е. показывает эффективность излучения источника звука. [1,4,6]

В работе рассматривается входной и выходной акустический импеданс, причем выходной принят как импеданс поршня в бесконечном отражении (отражательная перегородка бесконечно удалена). Т.е. можно воспользоваться уже известной формулой Рэлея для акустического импеданса поршневой диаграммы в бесконечном экране. В связи с тем, что в излучателе конечной длины имеет место отражение волны от его открытого конца, входной импеданс может быть записан в условиях выходного импеданса, т.е. зависит от него.

Постановка задачи.

Уравнение Вебстера имеет вид:

$$\frac{d^2 P}{dx^2} + \frac{1}{S(x)} \frac{dS}{dx} \frac{dP}{dx} + k^2 P(x) = 0, \quad (1)$$

где $P(x)$ – звуковое давление, $S(x)$ – площадь поперечного сечения горна и k – волновое число, определяемое как (ω/c) . Если сечение круглое, то функция $S(x) = \pi r^2(x)$, где $r(x)$ – радиус горна в некоторой точке x . В общем случае можно использовать $r(x) = r_0 + A(1 - \cos x/h)$, где r_0 – радиус в точке $x=0$ и $h=l/\pi$, где

l – длина горна. Параметр $A = \frac{r_m - r_0}{2}$.

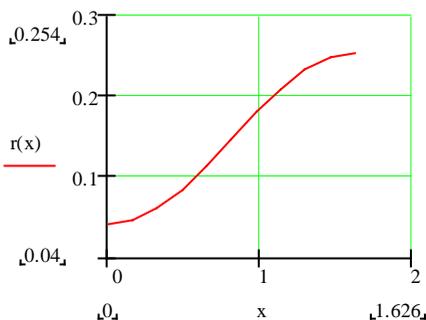


Рисунок 1

Приближение.

Уравнение (1) может быть решено с использованием метода ВКБ. Для этого сведем уравнение к безразмерному виду.

Введем безразмерные координату и параметры:

$$\xi = \frac{x}{l}, \bar{P} = \frac{P}{P_0}, \bar{S} = \frac{S}{S_0}, \quad (2)$$

где $l = \pi h$ – длина горна, P_0 – давление в горле горна, S_0 – площадь поперечного сечения в горле горна. После подстановки (2) в (1) оно примет вид

$$\frac{d^2 \bar{P}}{d\xi^2} + \frac{1}{\bar{S}} \frac{d\bar{S}}{d\xi} \frac{d\bar{P}}{d\xi} + \bar{k}^2 \bar{P} = 0, \quad (3)$$

где $\bar{k}^2 = k^2 l^2$. В результате некоторых алгебраических действий придем к уравнению следующего вида:

$$\frac{d^2 \bar{P}}{d\xi^2} + \frac{2\pi \bar{\alpha} \sin \pi \xi}{1 - \bar{\alpha} \cos \pi \xi} \frac{d\bar{P}}{d\xi} + \bar{k}^2 \bar{P} = 0, \quad (4)$$

где $\bar{S} = \bar{r}^2$, $\bar{A} = \frac{A}{r_0}$, $\bar{\alpha} = \frac{\bar{A}}{1 + \bar{A}}$ и $\frac{d\bar{S}}{d\xi} = 2\pi \bar{A} r \sin \pi \xi$.

Обозначим функцию $\frac{2\pi \bar{\alpha} \sin \pi \xi}{1 - \bar{\alpha} \cos \pi \xi} = \varphi(\xi)$, тогда уравнение (4)

$$\bar{P}'' + \varphi(\xi) \bar{P}' + \bar{k}^2 \bar{P} = 0. \quad (5)$$

Преобразуем уравнение (6) с помощью подстановки

$$\bar{P} = y(\xi) e^{-\frac{1}{2} \int \varphi(\xi) d\xi}, \text{ т.е. } \bar{P} = \frac{y(\xi)}{1 - \bar{\alpha} \cos \pi \xi}. \quad (*)$$

Подставим (*) в уравнение (5), получим

$$y'' + \left(\bar{k}^2 - \frac{\bar{\alpha} \pi^2 \cos \pi \xi}{1 - \bar{\alpha} \cos \pi \xi} \right) y = 0. \quad (6)$$

Используя метод ВКБ приближения уравнение (6) имеет общее решение

$$y = c_1 h^{\frac{1}{4}} e^{i\omega(\xi,0)} + c_2 h^{\frac{-1}{4}} e^{-i\omega(\xi,0)}, \quad (7)$$

где

$$h(\xi) = \left(\bar{k}^2 - \frac{\bar{\alpha} \pi^2 \cos \pi \xi}{1 - \bar{\alpha} \cos \pi \xi} \right), \text{ а } \omega(\xi,0) = \int_0^\xi \sqrt{h(\eta)} d\eta. \quad (8)$$

$$f_j = h^{-1/4} e^{\varepsilon_j \omega(\xi,0)}, \quad \varepsilon_j = \pm i \quad (9)$$

Таким образом, принимаем в качестве приближенного частного решения исходного уравнения (6) функции (9), а их сумму (7) – в качестве общего решения.

Функции (9) являются каждой строгим решением дифференциального уравнения, получаемым двукратным дифференцированием их по ξ

$$f_j'' + (g(\xi) + h(\xi))f_j = 0, \quad (10)$$

$$\text{где } g(\xi) = \frac{1}{4} \frac{h''}{h} - \frac{5}{16} \left(\frac{h'}{h} \right)^2.$$

Формула (7) получена чисто формальным путем. Основным допущением было предположение о том, что частные решения исходного уравнения (6) не отличаются существенно от частных решений уравнений типа (10).

Для построения строгого решения уравнения исходного (6) представим общее решение уравнения (6) в виде суммы произведений приближений (9) на произвольные функции, подлежащие определению:

$$y = D_1(\xi)f_1(\xi) + D_2(\xi)f_2(\xi), \quad (11)$$

где $D_j = D_j(\xi)$ – неизвестные функции.

Приближение (7) соответствует случаю, когда функции $D_j = D_j(\xi)$ обращаются в постоянные.

Учитывая произвол в выборе функций, свяжем их соотношением

$$D_1' f_1 + D_2' f_2 = 0. \quad (12)$$

Подстановка (11) в (6) с учетом зависимости (12) и уравнения (10) дает еще одно уравнение, связывающее введенные функции $D_j = D_j(\xi)$

$$D_1' f_1' + D_2' f_2' = - \left(D_1 \left(f_1'' + h f_1 \right) + D_2 \left(f_2'' + h f_2 \right) \right). \quad (13)$$

Система линейных алгебраических уравнений (12) и (13) относительно неизвестных $D_j'(\xi)$ имеет отличный от нуля определитель. Если C_j – произвольные постоянные, равные соответственно значениям $D_j(\xi)$ при $\xi=0$, то функции должны удовлетворять $D_j(\xi)$ системе интегральных уравнений типа Вольтерра:

$$D_1 = C_1 - i \int_0^{\xi} \frac{\tilde{g}(z)}{f_1(z)} (D_1(z)f_1(z) + D_2(z)f_2(z)) dz, \quad (14)$$

$$D_2 = C_2 + i \int_0^{\xi} \frac{\tilde{g}(z)}{f_2(z)} (D_1(z)f_1(z) + D_2(z)f_2(z)) dz$$

где $\tilde{g} = \frac{g}{2h^{1/2}}$.

Умножая обе части уравнений (14) соответственно на $f_j(\xi)$ и складывая, получим интегральное уравнение

$$y(\xi) - \int_0^{\xi} H(\xi, z) \tilde{g}y(z) dz = \psi(\xi), \quad (15)$$

$$H(\xi, z) = i \left(\frac{f_1(\xi)}{f_1(z)} - \frac{f_2(\xi)}{f_2(z)} \right), \quad y(\xi) = \sum_{j=1}^2 D_j f_j, \quad \psi(\xi) = \sum_{j=1}^2 C_j f_j. \quad (16)$$

В явной форме фундаментальная система решений заданного уравнения (6)

$$Y_j(\xi) = f_j(\xi) + \int_0^{\xi} H(\xi, z) \tilde{g}(z) f_j(z) dz. \quad (17)$$

Дифференцируя (18) по ξ и учитывая, что $H(\xi, \xi) = 0$, найдем

$$Y_j'(\xi) = f_j'(\xi) + \int_0^{\xi} \frac{\partial H(\xi, z)}{\partial \xi} \tilde{g}(z) f_j(z) dz. \quad (18)$$

Представим искомую функцию y и ее производную y' , учитывая (17) и (18) в виде

$$y = \sum_{j=1}^2 C_j (f_j(\xi) + \Delta_j(\xi))$$

$$y' = \sum_{j=1}^2 C_j (f_j'(\xi) + \Delta_j'(\xi)) \quad (19)$$

где обозначено

$$\Delta_j = \int_0^{\xi} H(\xi, z) \tilde{g}(z) f_j(z) dz, \quad \Delta_j' = \int_0^{\xi} \frac{\partial H(\xi, z)}{\partial \xi} \tilde{g}(z) f_j(z) dz \quad (20)$$

Начальные параметры $y_0 = y(0)$, $y_0' = y'(0)$.

Из (20) следует, что при $\xi = 0$ значения функций $\Delta_j(\xi)$ и $\Delta_j'(\xi)$ обращаются в нуль.

Тогда из (19)

$$y_0 = \sum_{j=1}^2 C_j f_j(0)$$

$$y_0' = \sum_{j=1}^2 C_j f_j'(0)$$
(21)

Решением системы уравнений (21) будет

$$C_1 = -\gamma_1 y_0' + \gamma_2 y_0, \quad C_2 = \gamma_1 y_0' + \gamma_3 y_0, \quad (22)$$

где обозначено

$$\gamma_1 = \frac{i}{2h^{1/4}(0)}, \quad \gamma_2 = \frac{h^{1/2}(0) - \frac{i}{4} \frac{h'(0)}{h(0)}}{2h^{1/4}(0)}, \quad \gamma_3 = \frac{h^{1/2}(0) + \frac{i}{4} \frac{h'(0)}{h(0)}}{2h^{1/4}(0)}.$$

Подставляя (22) в (19), найдем

$$y = \gamma_1 y_0' (-f_1 - \Delta_1 + f_2 + \Delta_2) + \gamma_2 y_0 (f_1 + \Delta_1 + f_2 + \Delta_2),$$

$$y = \gamma_1 y_0' \left(-f_1' - \Delta_1' + f_2' + \Delta_2' \right) + \gamma_2 y_0 \left(f_1' + \Delta_1' + f_2' + \Delta_2' \right) \quad (23)$$

Граничные условия дают возможность получения частотного уравнения

$$\cos \omega(1,0) - \sin \omega(1,0) \int_0^1 \tilde{g}(z) dz + \int_0^1 \tilde{g}(z) \sin(\omega(1,\xi) - 2\omega(z,0)) dz = 0 \quad (24)$$

Из формулы (24) вытекает важный результат

$$\cos \omega(1,0) + O(k^{-1}) = 0.$$

Этот результат можно существенно улучшить. Например, можно получить асимптотическое представление с остаточным членом $O(k^{-2})$, а не $O(k^{-1})$.

Функция h может быть представлена в виде

$$h = \bar{k}^{-2} m(\xi), \quad (25)$$

где $m(\xi) = 1 + \frac{1}{\bar{k}^2} b(\xi)$, $b(\xi) = -\frac{\alpha \pi^2 \cos \pi \xi}{1 - \alpha \cos \pi \xi}$.

Тогда функции $\omega(\xi,0)$ и $\tilde{g}(\xi)$ принимают вид

$$\omega(\xi, 0) = \bar{k} \int_0^{\xi} m^{1/2}(\eta) d\eta, \quad \tilde{g}(\xi) = \frac{1}{k} n(\xi),$$

$$n(\xi) = \frac{1}{8m^{1/2}(\xi)} \left(\frac{m''(\xi)}{m(\xi)} - \frac{5}{4} \left(\frac{m'(\xi)}{m(\xi)} \right)^2 \right) \quad (26)$$

Второе слагаемое уравнения (24) с учетом представлений (25) и (26) можно записать

$$J_2 = \frac{1}{k} J_2(\bar{k}), \quad \text{где } J_2(\bar{k}) = -\sin \left(\bar{k} \int_0^1 m^{1/2}(\xi) d\xi \right) \int_0^1 n(\xi) d\xi. \quad (27)$$

Рассмотрим третье слагаемое уравнения (24). Введем обозначения

$$r(\xi) = \omega(1, \xi) - 2\omega(\xi, 0), \quad r'(\xi) = -3\bar{k}m^{1/2}(\xi), \quad r''(\xi) = -\frac{3}{2}\bar{k} \frac{m'}{m^{1/2}};$$

$$J_3 = \frac{1}{k} J_3(\bar{k}), \quad \text{где } J_3(\bar{k}) = \frac{n(\xi)}{3m^{1/2}(\xi)} \cos r(\xi) \Big|_0^1 +$$

$$+ \frac{1}{6} \int_0^1 \frac{nm' - 2n'm}{m^{3/2}} \cos r(\xi) d\xi \quad (28)$$

Таким образом, частотное уравнение (25) можно записать в виде

$$J_1(\bar{k}) + \frac{1}{k} J_2(\bar{k}) + \frac{1}{k^2} J_3(\bar{k}) = 0. \quad (29)$$

Применение к уравнению (29) теоремы о нулях функции с известными асимптотическими представлениями позволяет получить асимптотическое выражение для собственных частот продольных колебаний:

$$\bar{K}_n^* = \frac{\pi(2n-1)}{2} \left\{ \frac{1}{\int_0^1 m^{1/2} d\xi} - \frac{4 \int_0^1 n d\xi}{\pi^2 (2n-1)^2} \right\} + O\left(\bar{k}_n^{-2}\right). \quad (30)$$

Множитель перед фигурной скобкой есть собственная частота соответствующего стержня с постоянной жесткостью и плотностью. Первое слагаемое в скобках дает приближение метода фазовых интегралов.

Выводы. В работе предложено решение уравнения Вебстера для косинусного излучателя с использованием метода ВКБ. Подобного

рода излучатели могут быть использованы как трансформаторы импеданса, а также как соединители двух труб различного сечения, кроме того, косинусный излучатель является эффективным фильтром высокой проходимости. Полученные результаты помимо акустики могут найти применение в других областях знаний, например, в медицинских исследованиях для описания нелинейных пульсовых вол.

Список использованных источников:

1. Павлова, Т.А. Развитие метода расчета строительных конструкций на живучесть при внезапных структурных изменениях / Павлова Т.А. /диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Орел, 2006

2. <https://cyberleninka.ru/article/n/obobshchennoe-uravnenie-vebsterata-tochnye-i-priblizhennye-renormgruppovye-simmetrii-invariantnyere-sheniya-i-zakony-sohraneniya>

3. Павлова, Т.А. Применение пакета МATHCAD при решении кратных интегралов / Павлова Т.А., Уварова М.Н. В сборнике: Современные проблемы гуманитарных знаний Материалы I всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. 2016. С. 61-65.

4. Павлова, Т.А. Математический язык в исследовании живой природы / Павлова Т.А., Уварова М.Н. / В сборнике: Образование: традиции и инновации Материалы VI международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Уварина Н.В. 2014. С. 364-365.

5. Павлова, Т.А. Моделирование акустического сопротивления в трубках с переменным поперечным сечением / Павлова Т.А. Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2011. № 3. С. 84-89.

6. Павлова, Т.А. Компетентностный подход в математической подготовке. / Т.А. Павлова, М.Н. Уварова.// Академический журнал Западной Сибири. 2016. Т.12.№2. С.53-54.

7. Павлова, Т.А. Некоторые аспекты применения моделирования при принятии решений. / Т.А. Павлова, М.Н. Уварова // В сборнике: Инновации в образовании. Материалы IX научно-практической конференции. 2017. С. 84-87.Соболев А. Ф., Ушаков В. Г., Филиппова Р. Д. Звукопоглощающие конструкции гомогенного типа для каналов авиационных двигателей //Акуст. журн. 2009. Т. 55. № 6. С. 749-759.

8. Соболев А.Ф. Полуэмпирическая теория однослойных сотовых звукопоглощающих конструкций с лицевой перфорированной панелью//Акуст. журн. 2007. Т. 53. № 6. С. 861-872.

<https://docviewer.yandex.ru>

9. Уварова, М.Н. Кратные и криволинейные интегралы. Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по математике / М.Н. Уварова, Е.В. Александрова. // Орловский филиал института содержания и методов обучения Российской академии образования. Орел. 2010.

10. Уварова, М.Н. Лабораторный практикум. Методические указания для студентов инженерных специальностей к лабораторным работам по математике. / М.Н. Уварова, Е.В. Александрова, Т.А. Павлова, Т.И. Волюшкина, Т.В. Карнюшкина, Н.Н. Петрушина.// Орел, 2009. Том Часть2.

Павлова Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент

Уварова Марина Николаевна, кандидат экономических наук, доцент

THE SOLUTION OF WEBSTER EQUATION FOR ADAPTERS OF DIFFERENT SHAPE

Pavlova T. A., Uvarova M. N.

Orel State Agrarian University named after N.V.. Parakhin

Abstract. Pipe adapters are connecting elements made from different materials, which are used for joining pipes in pipeline structures for various purposes. The use of such products occurs in such pipelines as water pipes, heat pipes, gas pipelines, sewage systems, smoke and ventilation pipelines. For each communication, there is a form of such an adapter and usually it depends on the shape and dimensions of the interconnected pipes.

In the problems of propagation of intense sound, in concentrators and other waveguide systems, an equation of the Webster type arises:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = c^2 \frac{d \ln S(x)}{dx} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\varepsilon}{c^2 \rho} \frac{\partial^2 p^2}{\partial t^2} + \frac{b}{\rho} \frac{\partial^3 p}{\partial x \partial t^2}$$

The Webster equation is also used in calculations of the acoustic field in inhomogeneous media in the approximation of geometric acoustics. This equation also allows us to study the problems of propagation of sound waves of finite amplitude in absorbing media.

In the literature, there are several approaches to solving the acoustic wave propagation in a variable cross-section emitter. If the cross section of such a radiator expands, the amplitude decreases, while if the radiator becomes narrower, there is an increase in the energy flux density. Rayleigh and Webster were the first to obtain independently of each other a plane wave approximation for acoustic propagation in a round variable-section emitter. This equation can be solved for some forms such as exponential, conical, parabolic, catenoid, and sine, but in many cases no analytical solution can be found.

Key words: mathematical model, mathematical modeling, profile, adapter, cosine emitter.

*Pavlova Tatyana Aleksandrovna, candidate of technical Sciences,
associate Professor*

*Uvarova Marina Nikolaevna, candidate of economic Sciences,
associate Professor*

**РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ ПРОМЫШЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ УЧЕБНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Э.В. Карпович

Орловский государственный аграрный университет им. Н.В.
Парахина

Аннотация. Статья посвящена всё более актуальному в современных производственных условиях компьютерному моделированию. Обсуждаются преимущества его широкого использования, приводятся аргументы, свидетельствующие об экономической и конструкторской целесообразности его разностороннего применения. Говорится о многократном увеличении вариативности рассматриваемых для модернизации или вновь создаваемых конструкций. Затрагивается проблема подготовки кадрового состава для успешного включения в работу на производстве в разных областях сразу после окончания высших учебных заведений. Рассматриваются вопросы реформирования системы современного российского образовательного процесса, и предлагается один из путей более широкой и качественной подготовки выпускников для компьютерного моделирования на производстве путём обеспечения им позиции «соавторов учебного процесса» при привлечении к совместной с преподавателем научной работе в период обучения. В статье описаны компьютерные модели, созданные автором с привлечением обучающихся для современного образовательного процесса. Рассмотрено компьютерное моделирование механических, теплоэнергетических систем и систем электроники и автоматики. Проанализированы и выделены положительные стороны такого моделирования и обозначены перспективы перехода от него и направления развития с его помощью промышленного моделирования различных систем в машиностроительном производстве.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, современный образовательный процесс, механические и теплоэнергетические системы, промышленное моделирование, машиностроительное производство, перспективность, экономичность.

Введение. Создание новых образцов техники, будь то автомобильный, морской, авиатранспорт, образцы военной техники, машины агропромышленного назначения, начинается с эскизных

проектов и проходит в дальнейшем все привычные стадии разработки. Современное моделирование – важнейший этап подготовки производства [1]. Сегодня, в век глобальной компьютеризации, огромное количество новых проектов опирается на компьютерное моделирование [2] вплоть до заключительного этапа – изготовления реальной конструкции и проведения её всевозможных испытаний. Такой подход резко снижает материальные затраты, открывает перспективы изучения широчайшей вариативности для оптимизации [3] даже незначительных изменений в конструкциях и исправления различного рода недостатков в ходе работы над изделием, а также моделирования различных ситуаций, вплоть до аварийных (рис.1), что принципиально важно, например, для автомобильной промышленности. Несомненные преимущества, эффективность и наглядность подобного проектирования всё чаще отражаются в научных телепередачах, рекламных роликах, документальных фильмах.

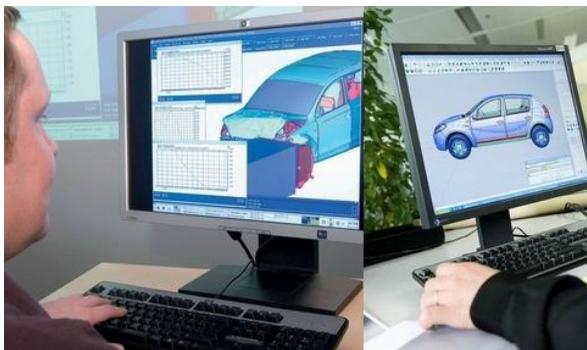


Рисунок 1 - Компьютерное моделирование аварии автомобиля
Компьютерное моделирование новых конструкций, производственных процессов, различных нештатных ситуаций и аварий, дизайна значительного числа изделий уже относительно давно и весьма успешно себя зарекомендовало (рис.2). В связи с этим прогрессирует всё нарастающая потребность в квалифицированных кадрах в этой области, причём максимально подготовленных, творчески мыслящих и с минимальными затратами на обучение, чему может в огромной мере поспособствовать развитие компьютерного моделирования в образовательном процессе.

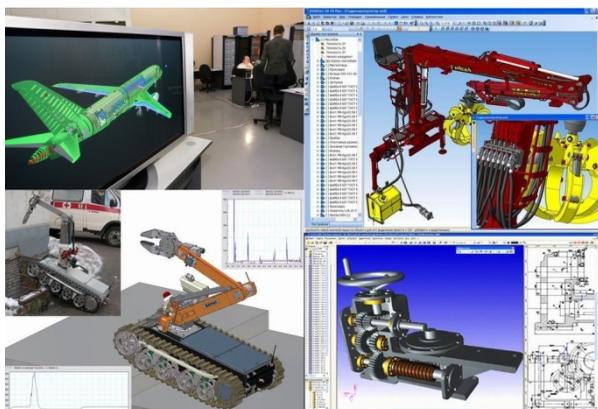


Рисунок 2 - Компьютерные модели в различных областях науки и техники

Демонстрируя будущим бакалаврам все преимущества, эффективность и наглядность компьютерного моделирования, можно привлекать их к разработке совместно с преподавателем учебных, научных и промышленных проектов. Как в своё время сказал Конфуций, обучай лишь того, кто, узнав про один угол квадрата, может представить себе три оставшихся. С учётом смысла этого высказывания легко понять, что совместное с преподавателем компьютерное моделирование ещё на этапе обучения полезно тем, что выявляет нестандартно мыслящих обучающихся, способных развивать свои творческие навыки и потенциал для промышленного моделирования. Конечно же, обязательно следует учитывать, что при максимально продуктивной работе преподавателя очень важным фактором является желание самого обучающегося, его ответственность и заинтересованность в успешном результате.

Основная часть.

Роль, преимущества и особенности учебного моделирования.

Реформирование системы современного российского образовательного процесса направлено на подготовку в вузах бакалавров с широким кругозором, хорошо разбирающихся в своей будущей специальности, умеющих в своей работе использовать новейшие методы и технические средства, особенно вычислительную технику. Поэтому из всего многообразия способов применения средств новых информационных технологий следует особо выделить использование при обучении компьютерного моделирования [4] в связи с его широкой популярностью в практике отечественного и зарубежного образовательного процесса вследствие его неисчерпаемых потенциальных возможностей. Важно отметить, что ЭВМ могут

выступать как средства наглядности, как тренажёры для контроля знаний и умений и в качестве лабораторных установок, моделирующих реальные процессы и явления, что, безусловно, необходимо для развития навыков промышленного моделирования.

Обычно моделирование применяется, когда натурное исследование физического явления невозможно или нецелесообразно. Ведь ЭВМ позволяет моделировать процессы любой сложности, в том числе и такие, которые нельзя наблюдать в обычной обстановке. Такое моделирование повышает интерес обучающихся к учебному материалу, углубляет его усвоение и подготавливает бакалавров к созданию и работе с такими моделями на производстве. Подобное моделирование в образовательном процессе формирует у бакалавров подход к будущему промышленному моделированию, как к приоритетному и экономически выгодному научно-исследовательскому виду работы. То есть на этапе проектирования нового изделия или каких-либо улучшений конструкции уже созданного образца многое можно учесть и проработать с помощью компьютерного моделирования, что сэкономит, порой, немалые финансовые и временные ресурсы. И только на этапе проверки характеристик будущего изделия можно перейти к дорогостоящим натурным испытаниям. В условиях мирового финансового кризиса такой подход становится особенно актуальным и своевременным как в промышленном моделировании для новых разработок, так и в моделировании для организации учебного процесса.

Для реализации методических целей в образовательном процессе автором создан оригинальный автоматизированный комплекс [5] для изучения курсов теплотехники, технической термодинамики, теплоэнергетики, электротехники, электроники, автоматики, физики и других дисциплин. Он включает 20 программированных учебных пособий различной направленности, в основном, не имеющих аналогов. В типологии образовательных компьютерных моделей [4] выделены *имитационные программные средства*, методически направленные на представление определённого аспекта реальности для изучения его основных структурных или функциональных характеристик с помощью некоторого ограниченного числа параметров. Автором создано несколько таких моделей, с помощью которых можно провести полноценное лабораторное занятие, если в этом возникает острая необходимость. Удобно и полезно комбинировать реальный и виртуальный эксперименты (как и в промышленном моделировании), так как дискретность контролируемых величин на модельном оборудовании значительно превосходит аналогичные показатели реальных приборов. Кроме того, в компьютерных моделях автором предусмотрено варьирование таких

параметров, которые у реальных лабораторных приборов изменить невозможно или очень затруднительно. Рассмотрим это на примерах созданных автором компьютерных обучающих моделей.

Моделирование механических систем. В лабораторной модели «Определение скорости пули при помощи баллистического маятника» предусмотрено варьирование семи видов реального стрелкового оружия с полностью соответствующими действительности исследуемыми в работе характеристиками, что в любой учебной лаборатории абсолютно невозможно, как, впрочем, и на многих стрелковых полигонах. Для обучающихся такой компьютерный эксперимент, согласно их многочисленным отзывам, представляет неизмеримо больший познавательный интерес, чем опыты со школьным механическим пружинным пистолетом. Кроме того, свобода выбора вида оружия для эксперимента, включая обсуждение этого вопроса с преподавателем, способствует развитию интерактивности [6] на занятии, что требуется современными образовательными стандартами.

Крайне важно отметить, что данная учебная модель разработана с применением диалогового режима. Программа сама по введённым пользователем данным прогнозирует и комментирует итоги эксперимента в нижнем окне «результат эксперимента» (рис.3). В модели диапазон изменения величины массы маятника сознательно никак не ограничен, а обозначен лишь примерно рекомендуемый для всех видов оружия, исследуемых в работе, разброс этой величины. Сделано это для реализации следующей методической цели.

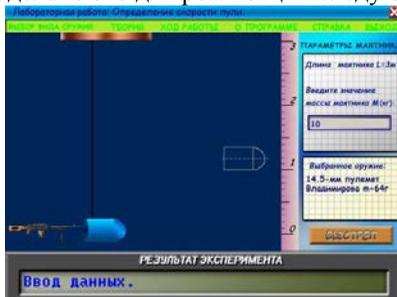


Рисунок 3 - Учебная модель баллистического маятника



Рисунок 4 - Модель для исследования разлёта осколков снаряда

На основании проведённого анализа пользователь самостоятельно выбирает массу маятника, необходимую для успешного, на его взгляд, проведения эксперимента, и вводит её значение в предусмотренное в программе окно. В зависимости от того, как отреагирует в опыте такой маятник на предстоящий выстрел, программа порекомендует выбрать большую или меньшую его массу,

сообщит о невозможности проведения эксперимента или, наоборот, об его успешности. В последнем случае можно смело осуществить выстрел, наблюдать итог своей аналитической деятельности и обрабатывать экспериментальные данные. Такой приём позволяет с младших курсов развивать у обучающегося аналитическое мышление и самостоятельность в принятии технического решения, что очень важно для будущего инженера, особенно если он будет связан с промышленным моделированием.

Учебная модель «Изучение закона сохранения импульса» демонстрирует разлёт осколков разорвавшегося снаряда (рис.4). В ней варьируются скорости целого снаряда, второго осколка и начальная высота полёта снаряда. По этим данным в модели рассчитываются скорость первого осколка, дальность разлёта осколков и их направления. Высота полёта осколков и дальность их разлёта динамически, что принципиально важно, визуализируются в соответствующих окнах. Подобной демонстрацией полезно сопроводить проверку решённой задачи во время практического занятия, что развивает и укрепляет интерактивность [7,8] при изучении материала в современном образовательном процессе.

Такая учебная модель служит мостиком к промышленному моделированию механических технологических процессов или нештатных ситуаций на производстве, особенно, если обучающийся совместно с преподавателем создаёт подобные учебные модели.

Моделирование теплоэнергетических систем. В лабораторной модели «Изучение фазовых переходов I рода» путём нагрева и плавления металла в тигле программа позволяет в динамике регистрировать показания температуры напрямую без использования соответствующих графиков для пересчёта значений напряжения, фиксируемых вольтметром. В этой компьютерной модели возможно параллельное с работой оборудования синхронное построение диаграмм плавления (рис.5) и отвердевания. Металлы, исследуемые в этом программном учебном пособии, имеют очень отличающиеся значения теплоёмкостей и температур плавления, что обеспечивает значительную вариативность опытов и большое различие в длительности проведения экспериментов. Для наиболее сильных обучающихся в лабораторной модели предусмотрено выполнение творческого задания с самостоятельным разработыванием методики расчёта искомой величины. Это соответствует новым российским образовательным стандартам и способствует вырабатыванию у бакалавров навыков самостоятельности в поиске решения и развитию аналитического мышления. Продуктивно это будет и для будущих специалистов в области промышленного моделирования.

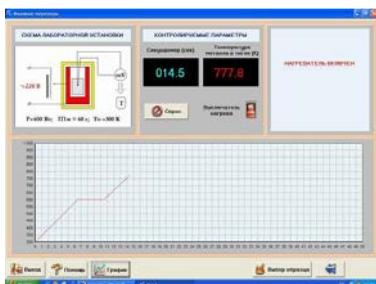


Рисунок 5 - Модель для исследования фазового перехода I рода



Рисунок 6 - Модель функционирования МГД-генератора

Для теплоэнергетиков очень эффективна и наглядна модель функционирования магнитогидродинамического генератора (рис.6) для получения электрического тока с помощью магнитного поля при сжигании топлива и получении плазменного потока в тепловом ракетном двигателе. Такая установка не имеет движущихся механических частей, что повышает надёжность её работы. В пользу необходимости и прогрессивности такого моделирования говорит и тот факт, что автор, продолжая научную деятельность после окончания аспирантуры, проектировал и рассчитывал с помощью компьютерной модели, созданной в МГТУ им. Н.Э. Баумана, конструкцию терморезака [9] на базе теплового микроракетного двигателя. Об экономическом эффекте от сохранённых средств при огромной вариативности проведённых расчётов и сложности изготовления миниатюрной конструкции теплового ракетного двигателя говорить не приходится.

Моделирование систем электроники, автоматики. Согласно уже упоминавшейся типологии обучающих компьютерных моделей [4] существуют *программные средства-тренажёры*, методически направленные на отработку учебных навыков, помощь при подготовке к занятиям или самостоятельном изучении материала и на контроль уровня овладения учебным материалом. Примером такой компьютерной модели является пособие «Изучение электронного осциллографа». Оно предусматривает два режима функционирования.

Первый режим – «изучение» (рис.7), когда при рассмотрении принципов действия электронного осциллографа хорошо видны все изменения, происходящие внутри прибора. При этом изучение материала сопровождается динамической визуализацией происходящих процессов. В модели предусмотрено мигание тех элементов электронно-лучевой трубки, которые ответственны за происходящие с электронным лучом изменения. Обучающийся может самостоятельно изменить интересующий его параметр и оценить

характер произошедших изменений.

Второй режим в этой программе – «тестирование», когда все внутренние процессы скрыты крышкой корпуса осциллографа, а отображается только след луча на экране. Этот режим предусмотрен в модели для тестирования по пройденному материалу на семинарах, для опроса на лабораторных занятиях и для возможности самоконтроля обучающимися.

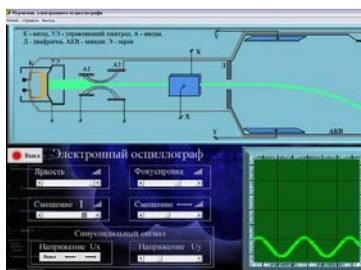


Рисунок 7 - Учебная модель электронного осциллографа



Рисунок 8 - Модель для исследования поглощения света

Наверное, стоит упомянуть о важности компьютерных моделей-тренажеров в промышленности. Они применяются для отработки навыков пилотирования летательных аппаратов, вождения автомобилей, управления промышленными процессами и для многого другого, экономя при этом колоссальные финансовые ресурсы и, разумеется, спасая тысячи жизней. Принципы и навыки создания подобного рода тренажеров с успехом закладываются в образовательном процессе благодаря демонстрациям и совместной с преподавателем разработке таких учебных компьютерных программ.

В лабораторной модели «Изучение поглощения света в различных средах» для задания с жидкостью (рис.8) в имитационном программном средстве предусмотрено 10 кювет, что на реальном лабораторном столе реализовать очень сложно. А модель благодаря такой дискретности даёт возможность детально наблюдать и изучить влияние свойств среды на интенсивность светового пучка. В задании для изучения поглощения света в твёрдом теле используется набор из 15 тонких пластин, что также является очевидным преимуществом.

Подобные учебные программы формируют принципы и навыки для создания промышленных компьютерных моделей систем связи, сигнализации и автоматики, а возможно, и новых промышленных образцов таких систем, что в наше технически развитое время является очень актуальной задачей. Примером может служить моделирование системы атмосферной оптической линии связи (АОЛС), где как раз принципиально важно всестороннее исследование влияния различных

сред и неожиданных помех (например, дождя, снегопада, тумана, задымления, внедрённых в среду средств перехвата сигнала) для распространения лазерного луча при передаче аудиосигналов [10-12], особенно для соблюдения конфиденциальности переговоров.

Заключение. Здесь приведены описания лишь немногих из созданных автором компьютерных учебных моделей. Объём статьи не позволяет рассмотреть все программированные пособия для разделов электроники, волновой оптики, магнитного и электрического полей, сложения колебаний, магнитного гистерезиса, волн, атомной физики, магнитооптических эффектов, полупроводников, электромагнитной индукции. Модели, заложенные в компьютерные лабораторные работы, являются наглядным представлением реальных экспериментов, достоверно отражают физические законы, а диапазон регулируемых параметров позволяет получать достаточное количество экспериментальных точек. Эти модели прекрасно дополняют реальные физические эксперименты и помогают более глубоко усвоить суть физических процессов и явлений. Интерфейсы компьютерных программ выполнены интуитивно понятными и разработаны так, чтобы обучающиеся, даже мало знакомые с ЭВМ, смогли самостоятельно без посторонней помощи ими воспользоваться. Поэтому огромную роль эти программированные пособия могут сыграть, в частности, в получившей распространение в последнее время системе дистанционного обучения.

Важным моментом при создании компьютерных моделей является возможность педагогов сотрудничать с обучающимися, стремление обеспечить им позицию соавторов учебного процесса. Целесообразно привлекать их к созданию подобных учебных средств. Это подготавливает будущих бакалавров к конструкторской деятельности, формирует профессиональные инженерные навыки, закладывает и развивает основы научной работы, учит самостоятельному поиску технических решений, прививает и укрепляет навыки компьютерной обработки информации, представления и изучения различных физических процессов с помощью компьютерных моделей, что ориентирует обучающихся на более серьёзное производственное моделирование для всестороннего тщательного рассмотрения вновь создаваемых конструкций.

Список использованных источников:

1. Мигай В.К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования [Текст].- Л.: Энергоатомиздат, 1987.- 264 с.
2. Карпович Э.В. Моделирование теплообмена в пористых телах // Главный механик.– 2014.– №6.– С.43-46.
3. Карпович Э.В. Оптимизация конструкции секционного

пористого теплообменного аппарата // Главный механик.– 2015.– № 7.– С.32-36.

4. Программные средства учебного назначения в деятельности преподавателя современного вуза. Материалы обмена опытом / Составители: Ю.Е. Гудсков, Л.П. Куваева, Л.А. Кадысева [Текст].– Орёл: Академия Спецсвязи России, 2003.– 68 с.

5. Карпович Э.В. Методика применения автоматизированного комплекса программных учебных пособий в курсе физики // Педагогическая информатика.– 2006.– №5.– С.65-73.

6. Карпович Э.В. Использование интерактивных методов обучения при подготовке бакалавров в аграрных вузах // Вестник Курганской ГСХА.– 2013.– №4(8).– С.36-39.

7. Карпович Э.В. Интерактивные методы обучения теплотехнике и теплофизике // Перспективное развитие науки, техники и технологий: материалы 3-й Международной научно-практической конференции.– Курск, 2013.– С.118-121.

8. Карпович Э.В. Использование интерактивных методов обучения теплотехнике бакалавров агроинженерного профиля // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов.- Саранск, 2017.- С.721-725.

9. Карпович Э.В., Поляев В.М. Разработка и проектирование малогабаритного терморезака // Известия вузов. Машиностроение.– 1994.– №7-9.– С.82-83.

10. Карпович Э.В. Моделирование лазерной передачи аудиосигналов // Главный механик.– 2016.– №1.– С.42-48.

11. Карпович Э.В. Моделирование лазерной передачи аудиосигналов в курсе теплофизики при подготовке агроинженеров // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов.- Саранск, 2017.- С.725-729.

12. Карпович Э.В. Способы моделирования лазерной передачи аудиосигналов // Главный механик.– 2017.– №11.– С.36-42.

Эдуард Владимирович Карпович, кандидат технических наук, karpowich.ed@yandex.ru, Россия, Орёл, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина

DEVELOPMENT OF SKILLS OF INDUSTRIAL MODELING WITH THE HELP OF EDUCATIONAL MODELING

Karpovich E.V.

Abstract: The article is devoted to computer modeling, which is more and more relevant in modern production conditions. The benefits of its wide use, the arguments, illustrating the economic and engineering feasibility of its versatile applications are discussed. It is said about the multiple increase of the variability of the structures considered for modernization or newly created. The problem of training the personnel for successful use of them in the production process in different areas immediately after the graduating from the higher education institutions is touched upon. The article considers the issues of reforming the system of modern Russian educational process, and proposes one of the ways of a wider and better training of graduates for computer modeling in the workplace by providing them with the position of "co-authors of the educational process" with the involvement in joint research with the teacher during the training period. The article describes the computer models created by the author with the involvement of students for the modern educational process. The computer simulation of mechanical, thermal power systems and systems of electronics and automation is considered. The positive aspects of such modeling are analyzed and highlighted and the prospects of transition from it and the direction of development with its help of industrial modeling of various systems in machine-building production are outlined.

Key words: computer modeling, modern educational process, mechanical and thermal energy systems, industrial simulation, engineering production, prospects, profitability.

*Karpovich E.V., Candidate of Technical Science,
karpovich.ed@yandex.ru, Russia, Orel, Orel State Agrarian University
named of N.V. Parakhin*

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В РАЗРАБОТКЕ ИННОВАЦИОННЫХ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ**

А.С. Коломейченко, В.Г. Шуметов

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. Н.В.
Парахина»

Аннотация. Выполнен анализ основных направлений применения современных информационных технологий при разработке инновационных машиностроительных технологий, оборудования и материалов: планирование активного эксперимента, регрессионный анализ его результатов и формирование обобщенных показателей качества на базе психофизического шкалирования. Показано, что для решения большинства задач в данной сфере достаточно располагать сравнительно недорогим базовым модулем системы анализа данных SPSS Base. Внимание к методам планирования эксперимента в настоящее время в определенной мере ослабло, все чаще в научных исследованиях применяют статистические методы анализа данных, но сейчас наблюдается возврат к «старым», проверенным временем идеям активного эксперимента. Эти методы желательны изучать при подготовке инженеров, особенно тех, кто планирует обучение в магистратуре и дальнейшее занятие наукой. Одним из перспективных направлений применения современных информационных технологий при разработке инновационных машиностроительных технологий, оборудования и материалов, является формирование обобщенных показателей качества на базе психофизического шкалирования. Эффективность новаций, как правило, оценивается по нескольким показателям, при этом желателен переход к обобщающему интегральному показателю. Наиболее простой метод построения интегрального критерия заключается в том, что один из частных критериев принимается в качестве обобщенного.

Ключевые слова: математические методы, машиностроение, информационные технологии, интеллектуальные технологии, дисперсионного анализ, многофакторный анализ, преобразование Харрингтона.

Введение. Авторы статьи – преподаватели кафедры информационных технологий и математики, и это предопределяет

подход к оценке места и роли интеллектуальных информационных технологий в разработке инновационных машиностроительных технологий, оборудования и материалов.

Исторически в ряду дисциплин подготовки специалистов большинства инженерных специальностей важное место занимает теория инженерного эксперимента. Цель дисциплины – подготовить будущего инженера-исследователя к выполнению экспериментальных работ, грамотному анализу результатов лабораторных исследований и производственных испытаний. Основой этой дисциплины является теория планирования активного эксперимента (ТПЭ), сложившаяся в шестидесятые годы прошлого века в результате работ английского математика, биолога, статистика Р. Фишера, первое издание основополагающей монографии которого «Планирование эксперимента» вышло в 1935 г., а девятое издание – в 1971 г. [1]. Благодаря чрезвычайной эффективности методы ТПЭ получили широкое распространение за рубежом в самых различных областях прикладной инженерной науки, поскольку они позволяют минимизировать число необходимых испытаний, установить рациональный порядок и условия проведения исследований в зависимости от их вида и требуемой точности результатов.

Основная часть. В 60-70 гг. прошедшего столетия на русский язык были переведены фундаментальные работы Ч. Хикса [2] и Д. Финни [3], и ТПЭ получила бурное развитие также и в СССР, чему во многом способствовала просветительная деятельность школы В.В. Налимова: организовывались научные конференции, издан ряд книг (см., например, [4-6]). Популярность методов ТПЭ в те годы обуславливалась ещё и тем, что ограниченные возможности доступа отечественных исследователей к вычислительной технике вынуждала обращаться к «ручным» способам обработки результатов экспериментов на калькуляторах, а наличие относительно простых алгоритмов нахождения параметров моделей, опубликованные в широко известном справочном издании [7], способствовало использованию самых разнообразных планов активного эксперимента – от простейших планов полного двухуровневого факторного эксперимента и их дробных реплик, позволяющих получать линейные модели, до самых «экзотических» многоуровневых планов, предназначенных для получения полиномиальных моделей второго порядка.

Одному из авторов данной публикации посчастливилось ознакомиться с методами ТПЭ «из первых уст», принять участие в школах, конференциях, проводимых как самим В.В. Налимовым, так и его соратниками – Ю.П. Адлером, В.З. Бродским, Т.И. Голиковой, В.Г. Горским, Е.В. Марковой и др. Потребности в научном обосновании

разработок отраслевого института легкого машиностроения вызвали появление ряда работ по созданию моделей разнообразных процессов и оборудования для их реализации, потребовавших реализации различных планов эксперимента. Среди них: планы однофакторного дисперсионного анализа, планы многофакторного дисперсионного анализа, планы полного факторного эксперимента ПФЭ 2^3 и 2^4 , 5^2 и даже $2^3 \times 3$, планы дробного факторного эксперимента ДФЭ 2^{3-1} , 2^{5-1} , 2^{7-4} , симплекс-решетчатый план, планы второго порядка: ортогональный композиционный трехфакторный план, композиционный ротатабельный четырехфакторный план, близкий к D -оптимальному четырехфакторный план на гиперкубе и др. (краткий обзор выполненных работ приведен в [8]).

По мере распространения компьютерной вычислительной техники, внимание к методам планирования эксперимента в определенной мере ослабло, их место заняли статистические методы анализа данных, но сейчас наблюдается возврат к «старым», проверенным временем идеям активного эксперимента: в планы подготовки специалистов многих инженерных специальностей вводятся соответствующие дисциплины (см., например, [9]), публикуются учебные пособия, посвященные вопросам применения планов активного эксперимента (см., например, [10, 11]), создаются учебно-методические комплексы, разрабатываются методические указания к лабораторным работам и пр. (см., например, [12, 13]).

В то же время, доступность компьютерной вычислительной техники существенно расширяет возможности анализа результатов активного эксперимента. В особенности, это относится к применению разнообразных методов регрессионного анализа таких широко распространенных пакетов статистических программ, как SPSS, начиная от версии 11 и вплоть до версий 19 и 20 [14-17]. Уже отпадает необходимость в использовании формул для «ручного» расчета параметров регрессионных моделей, облегчается анализ их адекватности эмпирическим данным.

В качестве еще одного перспективного направления применения современных информационных технологий при разработке инновационных машиностроительных технологий, оборудования и материалов, укажем формирование обобщенных показателей качества на базе психофизического шкалирования. Как правило, эффективность новаций оценивается не по одному, а нескольким показателям, при этом возникает задача построения интегрального критерия (см., например, [18]). Наиболее простой метод построения интегрального критерия заключается в том, что один из частных критериев принимается в качестве обобщенного, а все

остальные учитываются в виде ограничений, определяющих область допустимых альтернатив, но на практике чаще всего интегральный критерий формируют в виде аддитивной либо мультипликативной «свертки» частных показателей качества, при этом требуется их преобразовывать в безразмерную форму. Линейное преобразование частных показателей качества к единому интервалу $[0; 1]$ не учитывает, что психологическая оценка какого-либо раздражителя, как правило, нелинейно связана с его величиной. Данный принцип реализуется в так называемых функциях желательности, одной из которых является функция Харрингтона [19], заданная на интервале $(0; 1)$: эта функция асимптотически приближается к нулю в случае абсолютно неприемлемых значений показателей и к единице в случае очень хороших их значений.

Заключение. Преобразование Харрингтона позволяет качественно характеризовать значения как частных, так и обобщенных показателей в лингвистических терминах «очень плохо», «плохо», «удовлетворительно», «хорошо» и «очень хорошо», т.е. позволяет соотнести количественные и качественные оценки. В работе [20] нами предложен статистический подход к формированию функции желательности в задачах региональной экономики; изложенные в ней методические положения имеют общий характер и применимы для решения задач разработки инновационных машиностроительных технологий, оборудования и материалов.

Список использованных источников:

1. Fisher R.A. The Design of Experiments. 9th Edition. – Hafner Press, 1971. – 256 p.
2. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. Пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 406 с.
3. Финни Д. Введение в теорию планирования эксперимента. Пер. с англ. – М.: Наука, 1970. – 287 с.
4. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
5. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Изд-во «Металлургия». 1969. – 155 с.
6. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
7. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание) / В.З. Бродский и др. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.
8. Шуметов В.Г. Об опыте математического планирования экспериментов в научных исследованиях. // Сб. трудов

ВНИИЛТекмаш. Т.5. – №4. – М.: ЦНИИТЭИЛегпищемаш, 1975. – С.33-37.

9. Учебно-методический комплекс дисциплины «Теория инженерного эксперимента» для специальности 150601 «Материаловедение и технология новых материалов». – Дзержинский: ГОУ ВПО «Международный университет природы, общества и человека “Дубна”», 2011. – 34 с.

10. Реброва И.А. Планирование эксперимента: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.

11. Шкляр В.Н. Планирование эксперимента и обработка результатов: конспект лекций. – Томск: Томский политехнический университет, 2010. – 90 с.

12. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Эксперимент, планирование, проведение, анализ / Разр. О.А. Воронина. – Орел: ВГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, 2012. – 292 с.

13. Методология планирования эксперимента: методические указания к лабораторным работам / Сост. Т.П. Абомелик. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 38 с.

14. Бююль А., Цёфель П. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2002. – 608 с.

15. Наследов А.Д. SPSS 19. Профессиональный статистический анализ данных. – СПб.: Питер, 2011. – 399 с.

16. Наследов А.Д. IBM SPSS Statistics 20 и AMOS. Профессиональный статистический анализ данных. – СПб.: Питер, 2013. – 416 с.

17. Шуметов В.Г., Коломейченко А.С., Буяров В.С., Метасова С.Ю. Множественное сравнение средних в эмпирических сельскохозяйственных исследованиях//Вестник аграрной науки. -2017. -№4(67). -С. 113-122.

18. Бормотов А.Н. Формирование критериев оценки эффективности при математическом моделировании качества композитов // Modern High Technologies. – 2016. – №5. – С.430-434.

19. Harrington E.C. The desirable function // Industrial Quality Control. – 1965. – V.21. – №10. – P.494-498.

20. Шуметов В.Г., Барбашова Е.В., Слатинов В.Б. Методические аспекты преобразования показателей в оптимизационных задачах региональной экономики. / Среднерусский вестник общественных наук. – 2016. – Т. 11. – № 6. – С.333-341.

Коломейченко Алла Сергеевна, кандидат экономических наук, доцент, alla.kolomeychenko@mail.ru, Россия, Орел, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В.Парахина»

Шуметов Вади Георгиевич, доктор экономических наук, профессор, Россия, Орел, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В.Парахина»

INTELLECTUAL INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE MACHINE-BUILDING TECHNOLOGIES, EQUIPMENT AND MATERIALS

A.S. Kolomeychenko, V. G. Shumetov

Abstract. The analysis of the main directions of application of modern information technologies in the development of innovative machine-building technologies, equipment and materials is made: planning of an active experiment, regression analysis of its results and the formation of generalized quality indicators based on psychophysical scaling. It is shown that for solving most problems in this field it is sufficient to have a relatively inexpensive base module of the SPSS Base data analysis system.

Key words: mathematical methods, engineering, information technology, intelligent technology, analysis of variance, multifactor analysis, Harrington transformation

Kolomeychenko A. S., Candidate of Economic Sciences, associate professor, alla.kolomeychenko@mail.ru, Russia, Orel, Orel State Agrarian University.

Shumetov V. G., Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia, Orel, Orel State Agrarian University.

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ш. Яшузакова, Т. Катаргина, Т.А. Павлова

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В.
Парахина

Аннотация. Математическая модель - это система математических выражений, описывающих характеристики объекта моделирования и взаимосвязи между ними. В состав математической модели входят соотношения, отражающие условия, которым должно удовлетворять решение (план) данной задачи (так называемая система ограничений), а также функция, в математической форме выражающая поставленную цель с точки зрения выбранного критерия оптимальности (так называемая целевая функция). Поиск оптимального плана с математической точки зрения представляет собой определение такого набора числовых значений неизвестных, удовлетворяющих ограничительным условиям задачи, при котором целевая функция достигает экстремальной величины (максимума и минимума). [15,17,18]

Если неизвестные входят в модель только в первой степени, то задача относится к линейному программированию, в противном случае – к нелинейному программированию. Большинство практически важных задач планирования производства может быть описано с помощью линейных математических моделей. В данной статье будет рассмотрено обобщённая дискретно-аналитическая математическая модель управление качеством продукции пищевых производств. Стоит отметить, что качество конечного продукта зависит от совокупности различных факторов: сбыт, обслуживание, изготовление и другие.

Ключевые слова. Математическая модель, качество, продукция, управление качеством.

Введение. Математические модели давно и весьма успешно применяются в механике, физике, астрономии, архитектуре, информатике, биологии. Качественная модель, как правило, упрощает исследования, по сравнению с исследованием реального объекта. Для понимания того как устроен конкретный объект, какова его структура, основные свойства, законы развития; во-вторых, для того, чтобы

научиться управлять этим объектом нужна модель [1, 2]. Современная математика интенсивно проникает в другие науки: во многом этот процесс происходит благодаря разделению математики на ряд самостоятельных областей. Язык математики универсален, что является объективным отражением универсальности законов окружающего нас многообразного мира. Неотъемлемой частью любой науки, в частности математики, являются ее методы. Одним из них является моделирование. Благодаря замене реального объекта соответствующей ему моделью появляется возможность математически сформулировать задачу его изучения.

Данная статья рассматривает качество продукции с точки зрения объекта управления. [2,3,6]

Объект управления представляет собой управляемую систему. Данная система воспринимает определенные воздействия органом управления. В статье рассматривается принцип отражения качества процесса производства продукции на конечное качество результата. Исходя из изложенного, можно рассмотреть управление взаимосвязанными процессами, входящими в систему, ответственную за конечное качество продукции, в течение всего периода. Из чего следует, что качество продукции, как объект, является результатом систем, задействованных в процессе и отвечающих за конечное качество продукции. [1,2,5]

Данную систему можно отнести в следующий процесс:

- прогнозирование;
- планирование;
- производство;
- сбыт;
- обслуживание.

Стоит отметить, что выделенные процессы могут разделяться на определенные подпроцессы.

Также качество продукции характеризуется следующими показателями:

- проектные;
- производственные;
- прогнозируемые;
- эксплуатационные.

Данные показатели обладают вероятностными отклонениями. Отклонения приведенных выше показателей необходимо уметь не только оценить, но также иметь необходимые способы воздействия для того, чтобы погасить данные отклонения, и они не отразились на качестве готовой продукции. [10]

Качество продукции может ухудшаться в следствии следующих факторов:

- физический износ оборудования;
- изменение внутренней структуры продукции;
- состояние структуры компонентов в процессе производства;
- качество поступающих материалов;
- совершенствование технологий, используемых на производстве;
- приспособления и инструменты;
- мотивация персонала;

Из изложенного следует следующий вывод, что качество готовой продукции может измениться в любой момент производственного цикла, непосредственно зависит от взаимодействующих переменных. Таким образом, качество готового продукта характеризуется большим количеством переменных, изменяющихся во времени, а также формируется в следствии системой взаимосвязи, протекающих процессов, в течение производственного цикла.

Управление качеством продукции пищевых производств представляет собой дискретно-аналитическую математическую модель. [11-14]

Математическое моделирование представляет собой изучение какого-либо процесса, являющегося объектом. Построенная качественная математическая модель позволяет экспериментировать с различными переменными процесса, выбирать наиболее эффективный результат и использовать его на практике. Для примера можно рассмотреть разработку оптимального рецепта апельсинового сока. Существуют различные сорта апельсинов, каждый из которых обладает определенным физико-химическим составом, что непосредственно отражается на итоговой продукции. Конечный продукт должен обладать следующими свойствами: [4]

- стабильными физическими показателями;
- стабильными химическими показателями.

Если известны свойства соков различных сортов, то их можно смешать таким образом, что конечный продукт будет обладать необходимыми показателями.

Организации по производству апельсинового сока необходимо произвести сок, который будет содержать не менее 0,3% титруемых кислот и витамина С не менее 0,02%. Отдел закупок организации для производства сока закупает следующие сорта апельсинов: Гамлин; Верна; Салустиана.

В таблице 1 представлена их стоимость и количество, содержащихся необходимых компонентов.

Сорт апельсинов	Содержание компонентов, %		Цена за 1 кг, руб.
	Титруемые кислоты	Витамины С	
Гамлин	0,45	0,015	70
Верна	0,2	0,01	55
Салустиана	0,3	0,025	85

Зададим переменные x_1, x_2, x_3 , обозначающие соотношение частей различных соков в полученных смесях. Одним из условий назовем, что их значения должны быть положительными:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0.$$

Запишем функцию:

$$f(\vec{x}) = 70x_1 + 55x_2 + 85x_3.$$

Обозначим ограничению исходя их содержания в составе компонентов:

$$\begin{cases} 0,45x_1 + 0,2x_2 + 0,3x_3 \geq 0,3 \\ 0,015x_1 + 0,01x_2 + 0,025x_3 \geq 0,02 \end{cases}$$

Общее количество всех долей равняется одному:

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1.$$

Выберем один из способов решения для данной задачи.

Наиболее удобным способом является поиск решения, через программу MS Excel. На рисунке 1 указаны исходные данные для решения задачи.

	Переменные		
	X1	X2	X3
цена	70	55	85
доля			
Компоненты			
Титруемые кислоты	0,45	0,2	0,3
Витамин С	0,015	0,01	0,025
	1	1	1

Рисунок 1 – Исходные данные.

В результате решения (Рис. 2) мы получим, что самая дешевая смесь соков будет стоить в районе 75 рублей. Для этого мы должны использовать сорта Гамлин, Верна, Салустиана, в долях 16%, 23%, 61% соответственно.

	Переменные			итоговая
	X1	X2	X3	
доля	0,16	0,23	0,61	цена
цена	70	55	85	75
Компоненты				
Титруемые кислоты	0,45	0,2	0,3	
Витамин С	0,015	0,01	0,025	
	1	1	1	

Рисунок 2 – Результат решения.

В таких соотношениях конечный продукт будет удовлетворять всем необходимым требованиям. [7,8,9]

Вывод. Информационные технологии в настоящее время позволяют значительно расширить сферу их применения. Математическая логика и теория алгоритмов используются в тех сферах, где необходимо своевременно собрать, обработать и использовать все увеличивающийся объем информации, необходимый для управления разнообразными процессами и явлениями в сельском хозяйстве. В этом случае один из объектов рассматривается как оригинал, а второй как его модель-копия. Наиболее существенным сходством оригинала и его модели является сходство их поведения при определенных условиях. Использование экономико-математической модели позволяет рассмотреть явление в виде, не искаженном посторонними влияниями и ненужными деталями; модель дает возможность многократного повторения опыта до получения всесторонне обоснованных выводов, до познания сущности явления; моделирование позволяет экспериментировать с системой, меняя ее характеристики и исследуя поведение, что не всегда возможно при изучении реальных систем, например, в экономике, сельском хозяйстве; провести эксперимент там, где он невозможен из-за недоступности реального объекта или его дороговизны; изучение процесса на моделях обходится, как правило, значительно дешевле и требует значительно меньше затрат времени.

Оптимизационные модели характеризуются системой математических уравнений или неравенств экономической задачи, объединенных какой-либо целевой функцией, при которой определяется оптимальное решение. Для развития сельского хозяйства наиболее существенными являются: процесс специализации, концентрации и размещения производства; процесс производства и распределения сельскохозяйственной продукции, включая реализацию; процесс механизации и автоматизации

сельскохозяйственного производства; химизация производства; мелиорация земель; производственные процессы выращивания и переработки определенных видов растениеводческой и животноводческой продукции; распределение производственных ресурсов; ценообразование; распределение доходов и другие процессы.

Математические методы играют важную роль в экономических исследованиях. Математика является не только мощным средством при решении прикладных задач, но и универсальным языком науки. Использование математических методов при решении производственно-экономических задач приближает теоретические результаты к действительности, что во многом проясняет истинное состояние экономики, особенно в условиях неопределенности. [16,19]

Список используемых источников:

1. Бочкарев С.В. Петраченко А.Б. Управление качеством: учебное пособие. Пермь: изд. ПГТУ, 2008. – 347 с.
2. Васин, С.Г. Управление качеством. всеобщий подход: Учебник для бакалавриата и магистратуры / С.Г. Васин. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 404 с.
3. Волгина, О.А. Математическое моделирование экономических процессов и систем: Учебное пособие / О.А. Волгина, Н.Ю. Голодная, Н.Н. Одияко. - М.: КноРус, 2012. - 200 с.
4. Гличев, А.В. Качество продукции. Система управления / А.В. Гличев. - М.: Прогресс, 2004. - 312 с.
5. Голубева, Н.В. Математическое моделирование систем и процессов: Учебное пособие /Н.В. Голубева. - СПб.: Лань, 2013. - 192 с
6. Дресвянников, А.Ф. Контроль и управление качеством материалов / А.Ф. Дресвянников, М.Е. Колпаков. - М.: Ленанд, 2013. - 440 с.
7. Дунченко, Н.И. Управление качеством в отраслях пищевой промышленности: Учебное пособие / Н.И. Дунченко, М.Д. Магомедов, А.В. Рыбин. - М.: Дашков и К, 2016. - 212 с.
8. Логанина, В.И. Статистические методы управления качеством продукции / В.И. Логанина и др. - М.: КДУ, 2008. - 242 с.
9. Магер, В.Е. Управление качеством: Учебное пособие / В.Е. Магер. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 176 с.
10. Медведев, М.Ю. Статистические методы в управлении качеством продукции / М.Ю. Медведев. - М.: КноРус, 2013. - 240 с.
11. Мишин, В.М. Управление качеством: Учебник для бакалавров / А.Г. Зекунов, В.Н. Иванов, В.М. Мишин; Под ред. А.Г. Зекунов. - М.: Юрайт, 2013. - 475 с.
12. Новицкий, Н.И. Управление качеством продукции / Н.И.

Новицкий. - М.: Новое знание, 2004. - 367 с.

13. Салимова, Т.А. Управление качеством: Учебник по специальности "Менеджмент организации" / Т.А. Салимова. - М.: Омега-Л, 2013. - 376 с.

14. Федюкин, В.К. Управление качеством производственных процессов: Учебное пособие / В.К. Федюкин. - М.: КноРус, 2013. - 232 с.

15. Павлова, Т.А. Некоторые аспекты применения моделирования при принятии решений. / Т.А. Павлова, М.Н. Уварова // В сборнике: Инновации в образовании. Материалы IX научно-практической конференции. 2017. С. 84-87.

16. Павлова, Т.А. Оптимизация структуры посевной площади с использованием симплекс метода. / Т.А. Павлова, М.Н. Уварова// В сборнике: Проблемы современной экономической модернизации: международный опыт и российская практика. Сборник по материалам международной научно-методической конференции. Ответственный за выпуск Карпова О.И. 2017. С.143-146.

17. Павлова, Т.А. Модель как средство решения экономических задач. / Т.А. Павлова, М.Н. Уварова // В сборнике: Актуальные проблемы естественнонаучного образования, защиты окружающей среды и здоровья человека (Настоящее и будущее подготовки учащихся и студентов университетов в области естественных наук). Материалы IV Международной очной научно-практической конференции. 2016. С. 283-284.

18. Уварова, М.Н. Применение линейного программирования для решения задач оптимизации сельскохозяйственной продукции. /М.Н. Уварова, Т.А. Павлова// В сборнике: Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции. 2014. С.47-55.

19. Уварова, М.Н. Математические методы оптимизации. / М.Н. Уварова, Н.В. Сухарева// В сборнике: Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции XI Международный научно-практический семинар. 2012. С. 208-213.

Яшузакова Шекер

Катаргина Тамара

*Павлова Татьяна Александровна, кандидат технических наук,
доцент*

QUALITY CONTROL OF FOOD PRODUCTS ON THE BASIS OF DISCRETE AND ANALYTICAL MATHEMATICAL MODELS

Susanowa S., Katargina, T. Pavlova, T. A.

Orel state agrarian University named after N. B. Parahina.

Abstract. A mathematical model is a system of mathematical expressions that describe the characteristics of a modeling object and the relationships between them. The structure of the mathematical model includes the ratio reflecting the conditions that must satisfy the solution (plan) of the problem (the so-called system of constraints), as well as a function in mathematical form expressing the goal in terms of the selected optimality criterion (the so-called objective function). The search for the optimal plan from a mathematical point of view is the definition of such a set of numerical values of the unknown, satisfying the limiting conditions of the problem, in which the objective function reaches an extreme value (maximum and minimum).

If the unknowns are included in the model only in the first degree, the problem relates to linear programming, otherwise, to nonlinear programming. Most of the practically important tasks of production planning can be described by means of linear mathematical models. In this article the generalized discrete analytical mathematical model of food production quality management will be considered. It is worth noting that the quality of the final product depends on a combination of different factors: sales, service, manufacturing and others.

Key words: mathematical model, quality, production, quality management.

Susanowa Sheker

Katargina Tamara

Pavlova Tatyana Aleksandrovna, candidate of technical Sciences, associate Professor

Реклама в нашем журнале

ВНИМАНИЕ!

Редакция **ЖУРНАЛА «АГРОТЕХНИКА И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ»** приглашает Вас к сотрудничеству.

Мы предлагаем разместить Вашу рекламу на страницах нашего журнала. Наши читатели (Россия и зарубежье) — учебные и научные учреждения, предприятия следующих отраслей деятельности:

- сельскохозяйственные предприятия;
- предприятия тяжелой и легкой, перерабатывающей промышленности;
- энергокомпании;
- отраслевые НИИ;
- научно-производственные объединения;
- учебные заведения;
- библиотеки.

■ Каждый из номеров журнала распространяется более чем 500 адресатам.

Информацию о возможности размещения рекламной продукции и ценах Вы можете узнать в редакции журналов, а также у главного редактора.

Телефоны: 8202879024; 8(4862) 76-44-69.

Тел. (факс): 8(4862) 76-11-07

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – кандидат технических наук, доцент

Александр Владимирович Виноградов

E-mail: winaleksandr@vandex.ru

Адрес: 302019, г. Орел, ул. Ген. Родина, 69, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, факультет агротехники и энергообеспечения, ауд. 2-211.



**ПЕРЕДВИЖНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ
ЛАБОРАТОРИЯ
ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА»**

**при кафедре «Электроснабжение» Орловского ГАУ
г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69, Орел ГАУ, ауд. 2-411**

Передвижная электротехническая лаборатория ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» **проводит измерения и испытания в электроустановках до 1000В:**

1. Измерение сопротивления изоляции электрооборудования, проводов и кабелей;
2. Измерение сопротивления заземляющих устройств;
3. Измерения сопротивления цепи между заземлителями и заземляемыми элементами;
4. Измерение сопротивления петли «фаза-нуль»;
5. Проверка срабатывания устройств защитного отключения (УЗО);
6. Проверка срабатывания автоматических выключателей до 1000В.

Электротехническая лаборатория ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина» зарегистрирована в Приокском управлении Ростехнадзора за №А10-14-888 от 20.10.2014г.

Также предлагаем услуги:

1. Проведение измерений качества электрической энергии.
2. Выполнение, редакция программ по энергосбережению, энергоаудит.
3. Монтаж электрооборудования.
4. Обслуживание электрохозяйства, подготовка документации по электрохозяйству.
5. Проведение курсов повышения квалификации по энергосбережению, электробезопасности, обучение по рабочей профессии «Электромонтер»
6. Выполнение проектов по электроснабжению.
7. Выполнение обследования состояния электропроводок.
8. Электротехнические расчеты.

Наши контакты:

Руководитель: Виноградов Александр Владимирович (к.т.н.)

тел: 89202879024, E-mail: winaleksandr@rambler.ru

инженер – метролог: Бородин Максим Владимирович (к.т.н.)

тел: 89208014190, E-mail: maksimka-borodin@yandex.ru

инженер – метролог: Семенов Александр Евгеньевич

тел: 89536130445, E-mail: semenow.ae@yandex.ru

ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА»

Отдел сельскохозяйственного консультирования и развития сельских территорий ВНИИ социального развития села ФГБОУ ВО Орловский ГАУ принимает заявки на оказание консультационных услуг по следующим направлениям:

- в области агробизнеса и экологии;
- в области биотехнологий и ветеринарной медицины;
- в области экономики;
- в сфере социального и экономического развития сельских территорий;
- в области агротехники и энергообеспечения;
- в сфере строительства, эксплуатации и управления недвижимостью, ландшафтного дизайна;
- в сфере охраны труда и пожарной безопасности и др.

Более подробная информация об оказываемых услугах размещена на странице отдела по адресу:

<http://www.orelsau.ru/science/institute-of-social-development-of-the-village/>

Телефон: 8 (4862) 43-30-81

E-mail: vnisrs.orelsau@mail.ru