

ОСОБЕННОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ ПАСТОЙ ОТВЕРСТИЙ В ЗАГОТОВКАХ LTCC-МИКРОСХЕМ

Анализируются способы заполнения пастой отверстий малого диаметра в заготовках, применяемых при изготовлении микросхем по LTCC-технологии. Предлагается вместо традиционных для этих изделий технологий заполнения отверстий применять трафаретную печать с использованием валика. Разработан алгоритм расчета и приведены результаты вычислительного эксперимента, показывающие возможность использования валика.

Ключевые слова: трафаретная печать, LTCC-технологии, вязкая жидкость.

В последние годы растет применение технологии низкотемпературной совместно спекаемой керамики (LTCC) при изготовлении микросхем. Эта технология применяется для ВЧ/СВЧ модулей, коммутационных трехмерных плат, смесителей, делителей, сумматоров мощности, фильтров, ВЧ-трансформаторов и др. Стоимость таких микросхем невысока относительно микросхем, изготовленных по технологии высокотемпературной совместно спекаемой керамики (HTCC). Тем не менее процесс изготовления микросхем по LTCC-технологии отличается высокой трудоемкостью и большими затратами. При этом брак в микросхеме часто удается обнаружить уже после завершения ее изготовления.

Для изготовления заготовок в LTCC-технологии применяют листовый материал, который представляет собой слой так называемой «зеленой» керамики (кристаллизованное стекло или смеси стекла и керамики), нанесенный на полимерную подложку — майлар. Толщина листов может быть разной и определяется назначением микросхемы. В частности, фирма DuPont (Франция), предлагает керамику толщиной 4,5, 6,5, 10,0 миллидюймов (0,114, 0,165, 0,254 мм), а фирма FERRO (США) — 5,0 и 10,0 миллидюймов (0,127, 0,254 мм) [1]. В заготовках из нарезанных заранее листов керамики получают отверстия способом штамповки. Диаметры отверстий зависят от их назначения (передача электрического сигнала с одного слоя на другой, отвод тепла, экранирование). Отечественные стандарты рекомендуют следующие диаметры отверстий: 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,4, 0,5 мм.

Далее отверстия заполняют специальной пастой, состоящей из частиц металла (золото, серебро, палладий и их комбинации) и связующего. В зависимости от состава, размеров и концентрации металлических частиц вязкость пасты может достигать до 9500 Па·с [2]. Такая паста обладает высокой tiksotropностью. Минимальный диаметр отверстий в под-

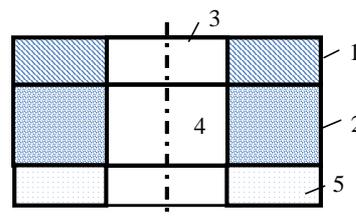


Рис. 1. Схематическое изображение отверстия:
1 — трафаретная форма; 2 — пластина-заготовка;
3 — отверстие в трафаретной форме;
4 — отверстие в заготовке; 5 — пленка-майлар

ложке рекомендуется выбирать равным толщине заготовки, так как отверстия меньшего диаметра сложны в заполнении. Одной из причин брака является образование полостей в отверстиях при заполнении его пастой, что ведет к снижению электрических свойств или даже нарушению проводимости.

Для заполнения отверстий пастой используется несколько технологий, основанных на способе трафаретной печати. Паста должна заполнить отверстие, длина которого определяется толщиной керамической заготовки, майлара и трафаретной формы (рис. 1). Таким образом, длина полученного отверстия примерно в два раза превышает его диаметр. Для печати используют сеточные и фольговые печатные формы [3].

Использование сеточных форм более выгодно с экономической точки зрения. Однако печатающий элемент в сеточной форме перегораживается нитями сетки, что повышает гидравлическое сопротивление течению пасты.

Применение фольговых форм при большом количестве слоев ведет к снижению экономических показателей. Но для получения наилучшего результата необходимо все-таки использовать фольговые печат-

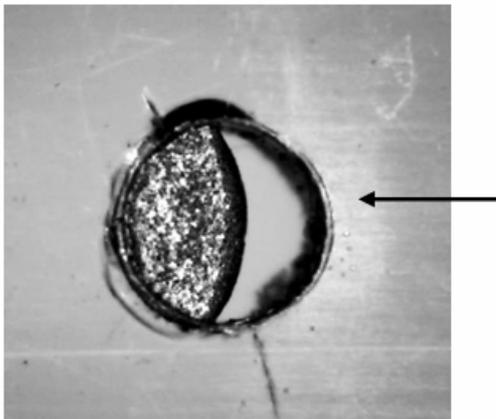


Рис. 2. Заполнение пастой отверстия после однократного прохода плоским ракелем:
 паста вязкостью 1200 Па·с; диаметр отверстия 0,2 мм;
 материал подложки — органическое стекло
 толщиной 0,3 мм;
 ракель полиуретановый, жесткость 80 ед. по Шору;
 скорость движения ракеля 0,05 м/с;
 угол наклона ракеля 75°

ные формы. Основа фольговой печатной формы представляет собой металлическую фольгу (нержавеющая сталь, медь, латунь) толщиной от 50 мкм, в которой печатающие элементы могут быть выполнены с помощью лазера, травлением или механическим способом.

1. Трафаретная печать с применением плоского ракеля. Недостатком использования плоского ракеля является то, что заполнение отверстия пастой происходит порционно, за несколько проходов. На рис. 2 показано отверстие, лишь частично заполненное пастой после одного прохода плоского ракеля. Стрелкой отмечено направление движения ракеля. При заполнении отверстия пастой в несколько проходов возможно попадание воздуха в толщу пасты, что ведет к браку.

Кроме того, давление, достаточное для течения пасты через отверстие, развивается непосредственно возле точки контакта между ракелем и печатной формой, что уменьшает время течения [4].

2. Трафаретная печать с использованием вакуума. Для увеличения эффективности заполнения отверстий пастой применяют вакуум. С этой целью на плиту с вакуумными отверстиями укладывают лист пористой бумаги, а сверху — заготовку с отверсти-

ями и трафаретную форму. При печати в плиту подают вакуум.

Такой способ позволяет заполнить отверстие за один проход ракеля. К недостаткам этого способа можно отнести следующее. Величина вакуума подбирается исходя из требования надежного заполнения самых малых отверстий на заготовке. Гидравлическое сопротивление течению в малых отверстиях выше, чем в более крупных, поэтому для них такой вакуум оказывается избыточным. При этом возможно просасывание воздуха через уже заполненные отверстия. Кроме того, недостатком является повышенная сложность оборудования.

3. Трафаретная печать с применением валика. Известно использование валика для заполнения отверстий в HDI-платах. Однако эта технология «... до сих пор полностью не введена ни на одном предприятии как основная» [5]. Кроме того, об использовании валиков в LTCC-технологии, упоминаний не встречается. На рис. 3 схематично показано заполнение отверстий пастой с помощью валика.

При использовании валика гидродинамическое давление описывается более пологой кривой, чем при использовании плоского ракеля. Это позволяет увеличить время течения пасты в отверстии. Подробно это явление описано в [6]. Опыты показали, что течение начинается после того, как давление в слое пасты перед валиком превысит некое минимальное значение $P_{мин}$, которому соответствует максимальное расстояние $L_{макс}$ (показаны на рис. 3).

При использовании валика его скорость должна быть определена также исходя из требования надежного заполнения самых малых отверстий на заготовке. В этом случае в более крупных отверстиях также развивается избыточное давление, но оно компенсируется пористой бумагой. При этом паста в отверстии движется сплошным потоком и воздух в нее не попадает.

Таким образом, применение валика для заполнения пастой отверстий в заготовке является предпочтительным. При этом важным является разработка научно обоснованных рекомендаций по скорости движения валика в зависимости от вязкости пасты и диаметра минимального отверстия.

В работе исследуется возможность использования валика для заполнения весьма вязкой пастой отверстий малого диаметра. Для этого проводили вычислительный эксперимент, для которого был разработан следующий алгоритм:

— расчет давления в рабочем слое пасты;

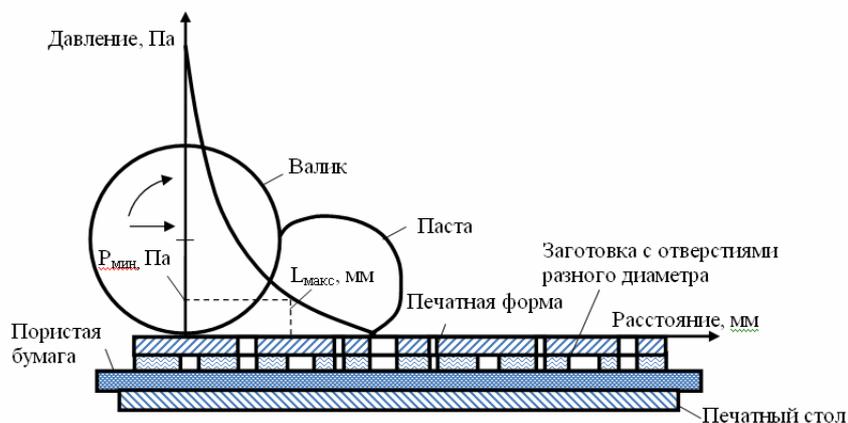


Рис. 3. Схематичное изображение заполнения отверстий пастой с помощью валика

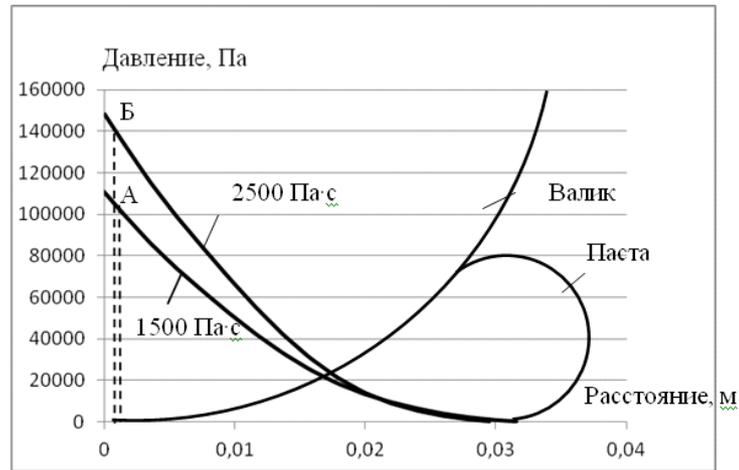


Рис. 4. Распределение давления в рабочем слое: скорость движения валика 0,05 м/с; диаметр валика 0,04 м

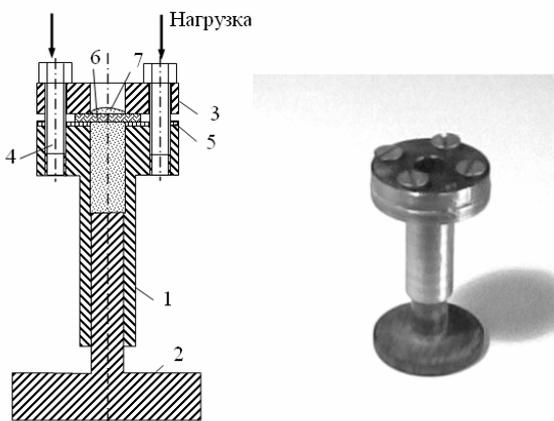


Рис. 5. Устройство для определения минимального давления, необходимого для течения пасты через отверстие

— определение минимального давления, необходимого для течения пасты в отверстии;

— определение скорости движения пасты в отверстии и уровень его заполнения под действием рассчитанного давления;

— определение оптимальной скорости движения валика, при котором отверстие заполняется пастой за один проход.

Для расчета количества пасты, прошедшей через отверстие, была использована программа FlowVision, в которой реализовано численное решение уравнения Навье – Стокса в системе с уравнением неразрывности. При разработке модели были сделаны следующие допущения:

— валик абсолютно жесткий. Это допущение объясняется тем, что в качестве облицовки валика должна применяться твердая резина, которая необходима для работы с высоковязкой пастой;

— течение в пасте считаем ламинарным, что обосновывается высокой вязкостью пасты и низкой скоростью движения валика;

— паста представляет собой ньютоновскую жидкость, так как во время движения валика она подвергается интенсивному перемешиванию и ее внутренняя структура полностью разрушена.

Кроме того, длина валика намного больше его диаметра, что позволяет рассматривать течение в плоскости, перпендикулярной оси вращения валика, то есть перейти к плоской задаче.

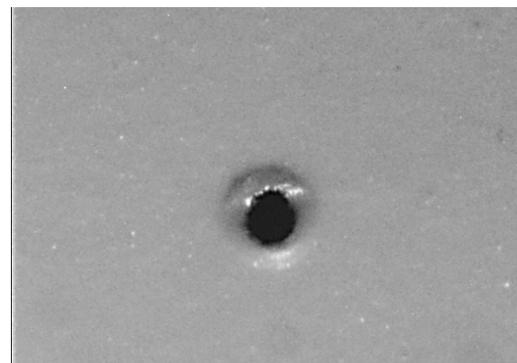


Рис. 6. Отверстие диаметром 0,1 мм в майларе

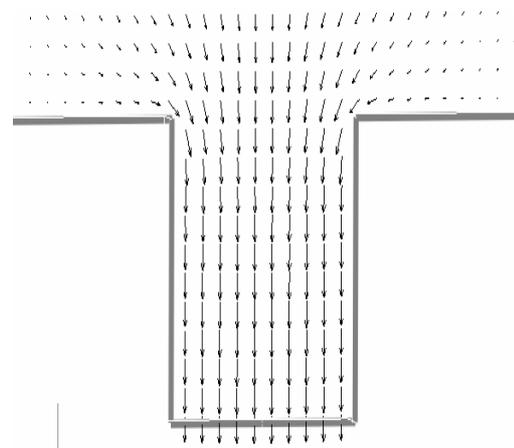


Рис. 7. Поле векторов скорости течения пасты в отверстии диаметром 0,1 мм

Для расчета приняты следующие значения:

— вязкость пасты принята 1500 и 2800 Па·с (соответствует вязкости пасты 6141 фирмы DuPont, которая рекомендована для заполнения отверстий);

— скорость движения валика 0,05 м/с (одно из значений, рекомендованных фирмой KEKO Equipment Ltd. (Slovenia), для заполнения отверстий);

— валик имеет диаметр 40 мм.

Расчет проводили для наименьшего из рекомендованных отверстия диаметром 0,1 мм. Высота отверстия определялась толщиной заготовки, майлара и печатной формы (0,1, 0,5 и 0,5 мм соответственно) и составила 0,2 мм. Результат вычислений приведен на рис. 4, где приведено распределение давления в слое пасты перед валиком. Начало координат поме-

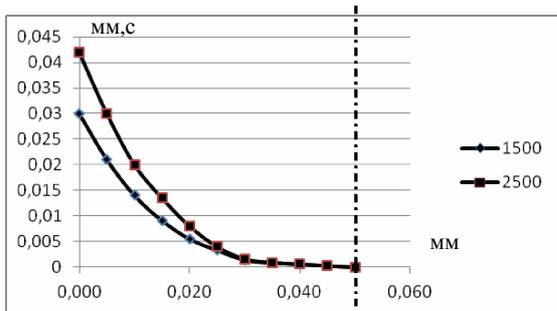


Рис. 8. Эпюра средних по времени скоростей для пасты вязкостью 1500 и 2500 Па·с

щено в точку соприкосновения валика и печатной формы.

Для определения $P_{\text{мин}}$ был проведен опыт, в котором использовали метод, показанный в [7]. На рис. 5 показано устройство для определения $P_{\text{мин}}$.

Устройство состоит из основания 1, поршня 2, планшайбы 3, винтов 4, прокладки 5, пластинки с отверстиями 6. Между планшайбой 3 и основанием 1 с помощью винтов 4 закрепляют образец с отверстиями 6. В отверстие основания 1 закладывают пасту. Устройство в сборе одевают отверстием на поршень. Далее с помощью мерных грузов увеличивают давление на основание и визуально, с помощью микроскопа, определяют начало течения пасты через образец.

В качестве пластинки 6 использовали пленку-майлар, в которой способом штамповки были получены отверстия диаметром 0,1 мм. Одно из них показано на (рис. 6).

Полученное при проведении опыта давление приводило к одному отверстию. Определенное таким образом давление $P_{\text{мин}}$ составило $1,06 \cdot 10^5$ Па для пасты вязкостью 1500 Па·с (точка А на рис. 4) и $1,4 \cdot 10^5$ Па для пасты вязкостью 2500 Па·с (точка Б на рис. 4). Паста вязкостью 1500 Па·с течет в отверстие за время, которое проходит валик расстояние 0,0015 м, то есть за 0,03 с, а паста вязкостью 2500 Па·с — за время, которое валик проходит расстояние 0,001 м, то есть 0,02 с.

Для определения количества пасты, которое пройдет через отверстие за это время была построена модель течения вязкой пасты через отверстие для программы FlowVision. Расчетное распределение скоростей в отверстии диаметром 0,1 мм показано на рис. 7.

Далее были построены эпюры средних по времени скоростей в поперечном сечении отверстия для пасты вязкостью 1500 и 2500 Па·с (рис. 8). На рисунке показаны половины эпюры. Вторая половина симметрична пунктирной относительно линии.

Далее линии профилей аппроксимировали с помощью стандартной функции Excel и после интегрирования получали время заполнения пастой отверстия. Выражения для интегрирования показаны ниже.

$$V_{1500} = \int_0^{0,00005} (0,0000021 + 0,001x + 0,0231x^2) dx$$

$$V_{2500} = \int_0^{0,00005} (0,000003 + 0,0014x + 0,06341x^2) dx,$$

где x — расстояние от отверстия до точки касания валика с поверхностью печатной формы. Верхний предел в интеграле соответствует радиусу отверстия.

Для пасты вязкостью 1500 Па·с расчетное время, необходимое для заполнения пастой отверстия диаметром 0,01 мм и длиной 0,2 мм, составило 0,037 с, а для пасты вязкостью 2500 Па·с — 0,028 с. В обоих

случаях это больше, чем время течения пасты при скорости валика 0,05 м/с. То есть при этой скорости паста не заполнит отверстие полностью.

Для заполнения отверстий необходимо использовать более высокую скорость валика, при которой развивается более высокое давление в пасте. Используя показанную методику, была рассчитана скорость валика диаметром 0,04 м для надежного заполнения отверстия диаметром 0,1 мм пастой, которая составила 0,2 м/с. Этой скорости достаточно, чтобы заполнить и другие, более крупные отверстия.

Таким образом, проведенный вычислительный эксперимент показал возможность использования валика при заполнении вязкой пастой отверстий малого диаметра в заготовках при изготовлении микросхем по LTCC-технологии. Применение валика для заполнения отверстий позволит снизить время на операцию по заполнению отверстий и повысить качество заполнения.

Полученные данные рекомендованы к использованию на радиотехнических предприятиях г. Омска и других городов, где имеется производство микросхем по LTCC-технологии.

Библиографический список

1. Руководство по разработке продуктов на основе многослойных керамических плат, выполненных по LTCC-технологии [Электронный ресурс]. — Режим доступа : www.atceramics.com. — Загл. с экрана (дата обращения: 03.02.2015).
2. Product Lines [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.dupont.com>. — Загл. с экрана (дата обращения: 03.02.2015).
3. Чигиринский, С. Особенности трафаретной печати и сборки в стек на оборудовании КЕКО [Электронный ресурс] / С. Чигиринский, Е. Штупар // Электроника НТБ. — 2010. — № 3. — Режим доступа : <http://www.electronics.ru/journal/article/47>. — Загл. с экрана (дата обращения: 03.02.2015).
4. Dietrich, E. Riemeer. Analytical Engineering Model of the Screen Printing Process, part II / Dietrich, E. Riemeer // Solid Technology. — 1988. — September. — P. 85–90.
5. Балашов, И. Технологии заполнения переходных отверстий в производстве HDI-плат / И. Балашов // Технологии в электронной промышленности. — 2014. — № 4. — С. 30–35.
6. Литунов, С. Н. Основы теории и расчета печатных аппаратов трафаретных машин с ракелем валкового типа : дис. ... д-ра. технич. наук : 05.02.13 / С. Н. Литунов. — М., 2008. — 191 с.
7. Glinski, G. P. A non-Newtonian computational fluid dynamics study of the stencil printing process / G. P. Glinski, C. Bailey, K. A. Pericleous // Proc Instn Mech Engrs. — 2001. — Vol. 215. — Part C. — P. 437–447.

ЛИТУНОВ Сергей Николаевич, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор, заведующий кафедрой «Оборудование и технологии полиграфического производства» Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

БАТИЩЕВА Марина Васильевна, инженер Омского научно-исследовательского института приборостроения.

СКИТЧЕНКО Виктория Викторовна, студентка гр. ТП-312 нефтехимического института ОмГТУ.

СЕРДЮК Ольга Евгеньевна, студентка гр. ТП-312 нефтехимического института ОмГТУ.

Адрес для переписки: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ОмГТУ, каф. ОйТПП.

Статья поступила в редакцию 09.04.2015 г.

© С. Н. Литунов, М. В. Батищева, В. В. Скитченко, О. Е. Сердюк

ТЕЧЕНИЕ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ В НЕСИММЕТРИЧНОМ ПОТОКЕ

В работе исследовалась гипотеза о существовании квазитвердого тела при течении тиксотропной жидкости в потоке заданной формы. Приведено теоретическое исследование течения вязкой жидкости. Исследования проводили, используя вычислительный и натурный эксперименты. Проведенные эксперименты подтвердили гипотезу о существовании квазитвердого тела в несимметричном потоке тиксотропной жидкости.

Ключевые слова: идеальная жидкость, вязкая жидкость, квазитвердое тело, модель течения вязкой жидкости.

1. Введение. В промышленности широко применяются неньютоновские, в частности тиксотропные, жидкости, например, консистентная смазка, растворы полимеров, вязкие печатные краски. Свойство тиксотропии объясняется наличием в жидкости внутренней структуры, имеющей некоторую механическую прочность. Минимальное напряжение, необходимое для разрушения этой структуры, называется предельным напряжением сдвига. Течение тиксотропной жидкости возможно при условии, когда касательные напряжения превышают предельное напряжение сдвига. При моделировании одномерного осесимметричного течения тиксотропной жидкости было выяснено, что в потоке существует область, в которой касательные напряжения меньше предельного напряжения сдвига. Можно предположить, что в этой области жидкость течет без перемешивания, то есть как твердое тело [1]. Такие области в потоке принято называть квазитвердым телом.

В случае течения тиксотропной жидкости в несимметричном потоке также могут возникать условия, при которых возможно образование квазитвердого тела. Наличие квазитвердого тела в потоке может оказывать негативное влияние на параметры течения (перемешивание, распределение температуры и т.д.) [2].

2. Цель работы. В работе исследовалась гипотеза о существовании квазитвердого тела при течении тиксотропной жидкости в потоке заданной формы.

3. Методы исследования. Исследования проводили, используя вычислительный и натурный эксперименты. Вычислительный эксперимент включал в себя следующие этапы:

- 1) определение поля скоростей в области течения;
- 2) расчет сдвиговых напряжений в области течения;
- 3) определение участков в области течения, на которых предельное напряжение сдвига превышает сдвиговые напряжения в потоке.

Натурный эксперимент включал в себя измерение температуры в потоке и выявление областей с оди-

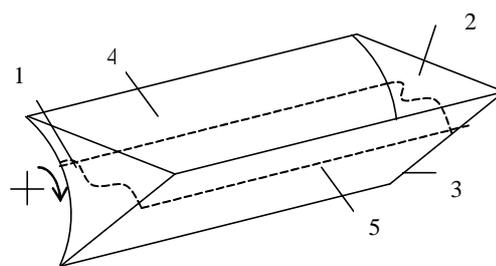


Рис. 1. Область течения вязкой жидкости:
1, 2, 3 — неподвижные границы; 4 — подвижная граница;
5 — граница жидкости

наковой температурой, которые указывают на наличие квазитвердого тела.

4. Проведение вычислительного эксперимента. Для исследования выбрана область течения, показана на рис. 1. На рисунке отмечены неподвижные границы 1, 2, 3, и подвижная граница 4, которая представляет собой часть кругового цилиндра. Цилиндр равномерно вращается по стрелке относительно своей продольной оси симметрии. Жидкость расположена в пространстве между границами 1–4, как показано на рис. 1. Также на рис. 1. отмечена поверхность 5, представляющая собой свободную границу между жидкостью и атмосферой.

При проведении расчетов сделаны следующие ограничения и допущения:

- жидкость представляет собой изотропное вещество, т. е. его вязкость во всех направлениях одинакова;
- геометрические параметры области течения, скорость вращения подвижной границы и вязкость жидкости, образуют ламинарное течение;
- жидкость обладает свойством тиксотропии;
- вязкость постоянная величина;
- длина области течения многократно превышает ее поперечный размер.

Последнее замечание позволяет перейти к рассмотрению двумерного течения в плоскости, перпен-

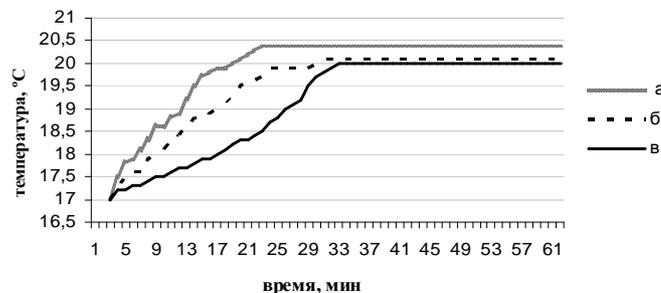


Рис. 2. Изменения температуры от времени при движении подвижной границы 4 об./с для краски с вязкостью: а — 30 Па·с; б — 40 Па·с; в — 50 Па·с

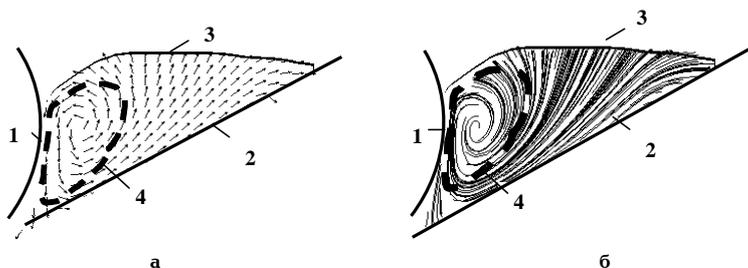


Рис. 3. Результаты расчета параметров течения жидкости:
а — поле скоростей с векторами, имеющими одинаковую длину;
б — линии тока в зоне течения.
1 — подвижная граница; 2 — неподвижная граница;
3 — свободная поверхность (граница жидкости и атмосферы);
4 — участок замкнутых траекторий движения

дикулярной оси вращения подвижной границы. Часть жидкости движется по замкнутым траекториям вокруг оси, расположенной параллельно оси вращения подвижной границы, образуя циркуляционное течение. Окружная скорость жидкости, которая движется по замкнутым траекториям, а следовательно, касательные напряжения уменьшаются от периферии к оси вращения, от максимума до нуля. При этом в области, прилегающей к оси вращения, образуются участки, на которых касательные напряжения меньше предельного напряжения сдвига. Можно предположить, что на участках будет образовываться внутренняя структура, обладающая механической прочностью, а жидкость будет вращаться как квазитвердое тело [3]. Для вычисления скоростей течения жидкости использовали программный комплекс FlowVision [4], в котором решается система уравнений Навье — Стокса и несжимаемости жидкости. При расчете в качестве модели течения принята модель «Ламинарная жидкость», рекомендованная для вязкой жидкости, движущейся с малыми скоростями. При задании граничных условий в области течения на границах 1–4 (рис. 1) учитывали условие прилипания жидкости ($V_{жжк} = V_{гр}$, где $V_{жжк}$, $V_{гр}$ — скорость жидкости и границы соответственно) и условие непроницаемости границы ($dV/dn = 0$, где n — нормаль к границе).

Для расчета сдвиговых напряжений принята модель течения тиксотропной жидкости [3]:

$$\tau = \tau_0 + \mu' \dot{\epsilon}, \text{ при } \tau > \tau_0, \quad (1)$$

где τ — касательная компонента тензора напряжения; τ_0 — предельное напряжение сдвига; μ' — динамический коэффициент структурной вязкости (вязкости жидкости с полностью разрушенной структурой); $\dot{\epsilon}$ — скорость сдвига. Касательные на-

пряжения в потоке жидкости определяли из обобщенного закона Ньютона для несжимаемой вязкой жидкости, который для случая, показанного на рис. 2, имеет вид:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left[\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right]. \quad (2)$$

В программном комплексе FlowVision не предусмотрена возможность расчета касательных напряжений, поэтому использовали специально разработанную программу, позволяющую по вычисленной скорости определить области, в которых касательные напряжения не превышают предельного напряжения сдвига [5].

Программа предназначена для применения в составе программных комплексов для исследования гидродинамики и реологии жидкостей, включающих средства трехмерной визуализации и анализа.

5. Натурный эксперимент. Натурный эксперимент проводили исходя из следующих соображений. При вращении подвижной границы происходит перемешивание жидкости и ее нагревание за счет сил вязкого трения. Поскольку квазитвердое тело вращается без перемешивания, то его нагрев осуществляется от периферии к центру до некоторой, равновесной для данной скорости движения, температуры. Со временем, при неизменной скорости вращения подвижной границы, температура внутри квазитвердого тела выравнивается по его объему и стабилизируется. Таким образом, можно предположить, что температура жидкости по площади каждого сечения квазитвердого тела, перпендикулярного оси его вращения, постоянна. На основании этого предположения измеряли температуру движущейся жидкости в сечении, перпендикулярном оси вращения квазитвердого тела, и выделяли участки с одинаковой

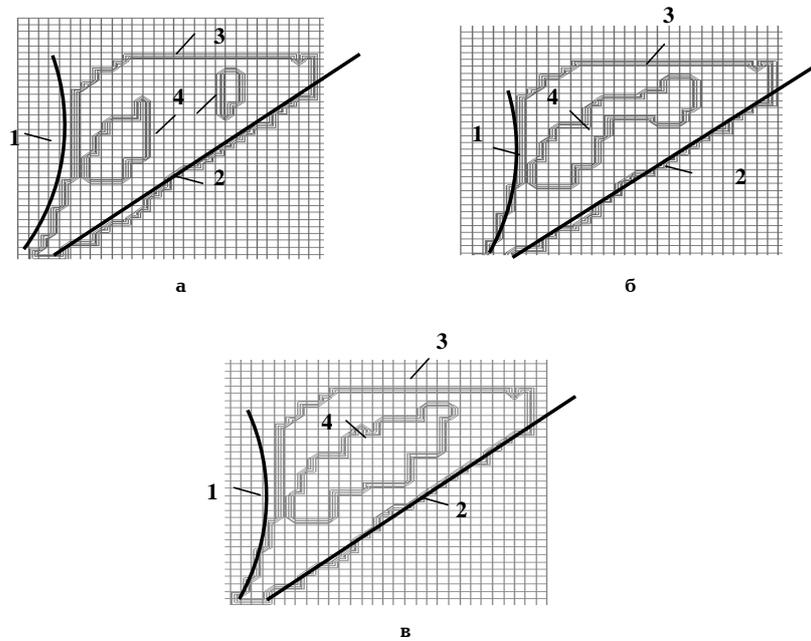


Рис. 4. Контурная диаграмма для области течения жидкости, построенная по результатам расчетов.

Частота вращения подвижной границы — 4 об./с;

вязкость жидкости: а — 30 Па·с; б — 40 Па·с; в — 50 Па·с.

1 — подвижная граница; 2 — неподвижная граница; 3 — свободная поверхность;
4 — участок течения, на котором касательные напряжения меньше предельного напряжения сдвига

температурой. Для изменения температуры жидкости использовали прибор ИТП-11 (Россия) с термомпарами, выполненными по ГОСТ Р 8.585-2001 [6].

Для проведения экспериментов использовали красочный ящик офсетной печатной машины Gronhi 1800 УК, который совпадает с областью течения, показанной на рис. 1. В качестве вязкой жидкости применяли печатную краску разных производителей с вязкостью 30, 40, 50 Па·с. Заполнение красочного ящика краской составляло 70 % объема (в соответствии с одним из вариантов расчета при проведении вычислительного эксперимента). Натурный эксперимент проводили в следующей последовательности.

1. Охлаждали краску до комнатной температуры (18 °С).

2. Датчик температуры устанавливали на оси квазитвердого тела.

3. Включали машину на одной из предусмотренных скоростей.

4. С помощью прибора ИТП-11 снимали показания температуры до достижения постоянного значения.

5. Измеряли температуру в плоскости перпендикулярной оси вращения подвижной границы квазитвердого тела с шагом по горизонтали и вертикали 1 мм.

На рис. 2 показаны зависимости температуры краски разной вязкости от времени при скорости вращения подвижной границы 4 об./с.

Из рисунка видно, что повышение температуры происходит быстрее с уменьшением вязкости тиксотропной жидкости.

6. Результаты. Обсуждение. Расчеты были выполнены для жидкостей, имеющих динамическую вязкость, равную 30, 40 и 50 Па·с, при этом частоту вращения подвижной границы изменяли в диапазоне 1–4 об./с с шагом 1 об./с. Один из вариантов результата вычислительного эксперимента показан на рис. 5. На нем показаны поле скоростей и линии

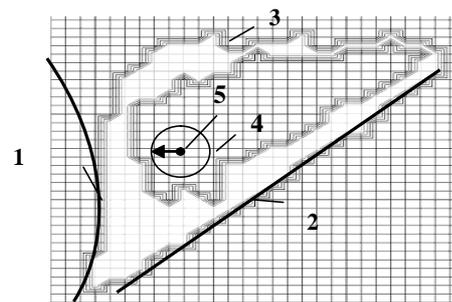


Рис. 5. Определение радиуса квазитвердого тела.

Вязкость жидкости 30 Па·с;

скорость вращения дукторного цилиндра 1 об./с.

1 — подвижная граница; 2 — неподвижная граница;

3 — свободная поверхность;

4 — контур квазитвердого тела;

5 — центр вращения квазитвердого тела

тока при вязкости 30 Па·с и частоте вращения 4 об./с. Для наглядности на рис. 5а показаны векторы скорости одинаковой длины.

Из рисунка видно, что в области течения имеется участок 4, на котором векторы скорости и линии тока образуют замкнутые траектории, имеющие центр. Кроме того, на рис. 5б видно, что жидкость образует циркуляционное течение, имеющее четко выраженный центр.

Далее по рассчитанным значениям скорости методом численного дифференцирования определяли по формуле (2) распределение касательных напряжений в области течения.

Затем строили контурные диаграммы, показывающие участки с одинаковыми значениями касательных напряжений (рис. 4). На рисунках внутренним контуром ограничены участки течения, где касательные напряжения меньше предельного напряжения сдвига.

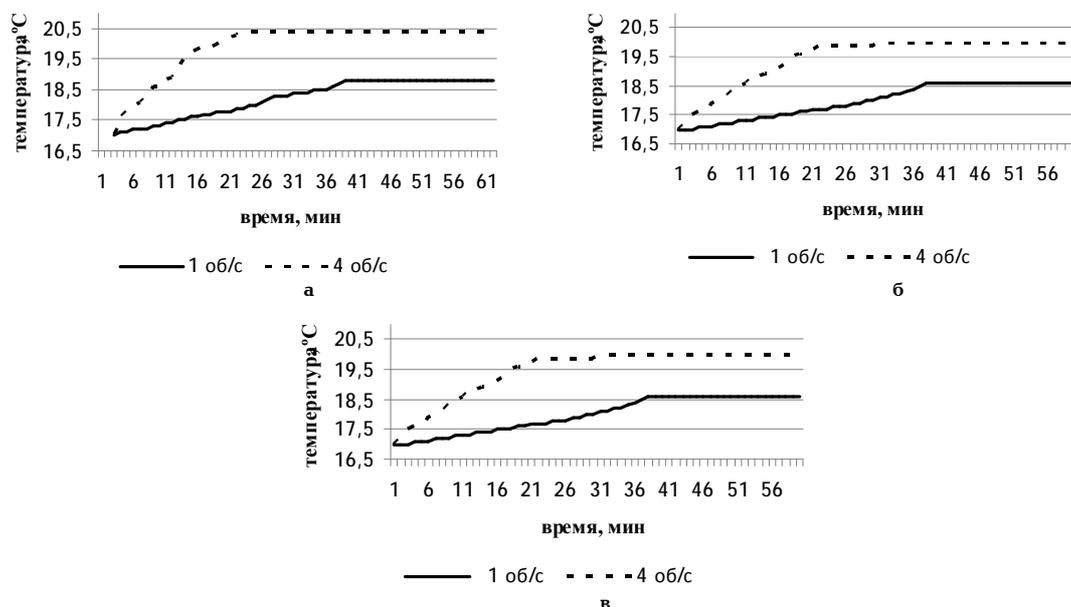


Рис. 6. Изменения температуры от времени для жидкости с вязкостью:
а — 30 Па·с; б — 40 Па·с; в — 50 Па·с

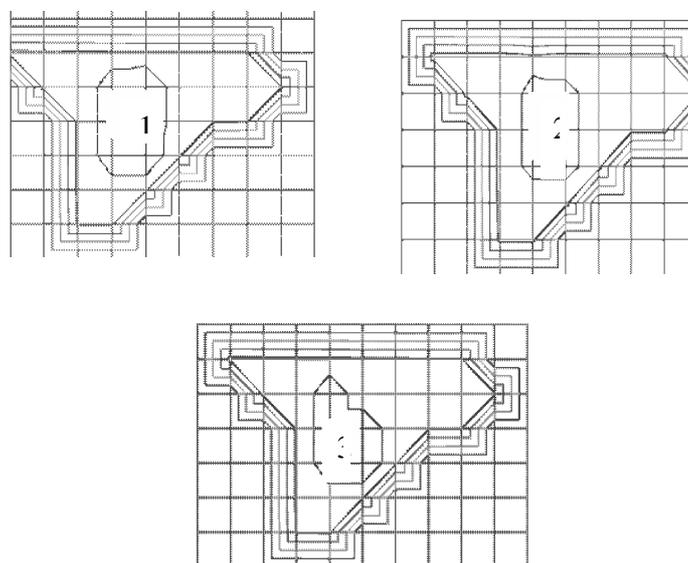


Рис. 7. Область течения для жидкости с вязкостью:
а — 30 Па·с; б — 40 Па·с; в — 50 Па·с;
1 — участок с температурой 21,1 °С;
2 — участок с температурой 20,9 °С;
3 — участок с температурой 21,6 °С

Координату центра вращения квазитвердого тела определяли геометрически, выбирая внутри замкнутых линий тока (рис. 5) точку, в которой скорость была нулевой. Полученные значения координат центра вращения для жидкостей с разной вязкостью отличались друг от друга не более чем на 5 %, что находится в пределах погрешности вычислений. Это позволяет предположить, что центр вращения квазитвердого тела не зависит от вязкости в диапазоне от 30 до 50 Па·с.

Радиус квазитвердого тела определяли как расстояние от центра его вращения до ближайшей границы участка, на котором касательные напряжения меньше предельного напряжения сдвига. На рис. 5 это расстояние показано стрелкой. Радиус квазитвердого тела в зависимости от вязкости жидкости изменялся от 8,21 до 8,45 мм, что составляет менее 4 %. Эти значения практически совпадают с результатами, полученными ранее [7, 8]. Это также позво-

ляет предположить, что радиус квазитвердого тела не зависит от вязкости в диапазоне от 30 до 50 Па·с.

За пределами квазитвердого тела также происходит структурирование жидкости. Однако эта структура разрушается, при попадании в зону интенсивного течения, например, у поверхности подвижной границы.

Вычисленные размеры сечения квазитвердого тела составляют 206,52–223,14 мм², что занимает около 20 % от всего объема жидкости. Такой объем, не участвующий в перемешивании, может оказывать значительное влияние на температуру, следовательно, и на вязкость жидкости.

На рис. 6 показаны зависимости температуры краски разной вязкости от времени при скорости вращения подвижной границы 1 об./с и 4 об./с.

Из рисунка видно, что повышение температуры и ее стабилизация происходит быстрее с увеличением скорости вращения подвижной границы.

По данным натурального эксперимента были построены контурные диаграммы с интервалами значений. На рис. 6. показаны области, в которых температура одинакова. Данные обработаны в программе Microsoft Excel, поэтому пропорции зоны течения не сохранены. Для остальных скоростей вращения подвижной границы контурные диаграммы подобны показанным на рис. 7. Из рисунка видно, что в области течения существуют участки с одинаковой температурой. Эти участки с точностью 0,5 мм совпадают с положением и размерами квазитвердого тела, найденными в вычисленном эксперименте.

7. Выводы. В результате вычислительного эксперимента в области течения вязкой тиксотропной жидкости выделены участки, на которых касательные напряжения меньше напряжения сдвига.

1. Положение квазитвердого тела в потоке и его размеры мало зависят от скорости вращения подвижной границы и вязкости жидкости и составляют около 20 % от объема жидкости.

2. Натурный эксперимент позволил выявить в сечении, перпендикулярном оси вращения квазитвердого тела, участки, на которых температура одинакова. Положение этих участков и их размеры совпадают с результатами вычислительного эксперимента.

3. Проведенные вычислительный и натурный эксперименты подтвердили гипотезу о существовании квазитвердого тела в несимметричном потоке тиксотропной жидкости.

8. Заключение. Исследованная несимметричная область течения представляет собой красочный аппарат офсетной печатной машины. Вычисленный объем квазитвердого тела составляет 20%, что, видимо, оказывает существенное негативное влияние на перемешивание краски. Сказанное подтверждает тот факт, что при работе печатной машины печатник периодически перемешивает краску в красочном ящике, так как происходит ее структурирование и ухудшается подача краски в красочный аппарат. Для решения этой проблемы предложено использовать механические краскомешалки [8] или активаторы пассивного типа [9, 10].

Библиографический список

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учеб. пособие. В 10 т. Т. 6. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — М. : Наука, 1988. — 216 с.
2. Технология печатных процессов / А. Н. Раскин [и др.]. — М. : Книга, 1989. — 432 с.

3. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. — М. : Дрофа, 2003. — 840 с.

4. Программный комплекс FlowVision. Версия 3.09.03 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.flowvision.ru> (дата обращения: 27.01.2015).

5. Литунов, С. Н. Программа подготовки к визуализации и анализу данных по гидродинамике течения краски в красочном аппарате офсетной машины / С. Н. Литунов, В. Н. Цыганенко, А. Г. Белик, Ю. Д. Тощакова // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 20772 от 11.02.2015 г. — М. : ОФАП, 2015.

6. ГОСТ 8.585—2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. — Введ. 2002-07-01. — М. : Изд-во стандартов, 2002. — 78 с.

7. Литунов, С. Н. Определение размеров квазитвердого тела печатной краски / С. Н. Литунов, О. А. Тимощенко // Известия Тульского гос. ун-в. Сер. Методы и средства исследования функционирования полиграфического оборудования. — 2014. — № 7. — С. 233—243.

8. Румянцев, В. Н. Неисправности и их устранения в листовой офсетной печати : справ. / В. Н. Румянцев. — М. : Принт-Медиа центр, 2006. — 146 с.

9. Пат. 142412 Российская Федерация, МПК В41F31/00. Красочный аппарат / С. Н. Литунов, О. А. Тимощенко ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. — № 2013154370/12 ; заявл. 06.12.2013 ; опубл. 27.06.2014, Бюл. № 18. — 1 с.

10. Пат. 141599 Российская Федерация, МПК В41F31/00. Красочный аппарат / С. Н. Литунов, О. А. Тимощенко ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. — № 2013153443/12 ; заявл. 02.12.2013 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16. — 2 с.

ЛИТУНОВ Сергей Николаевич, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор, заведующий кафедрой «Оборудование и технологии полиграфического производства».

ТОЩАКОВА Юлия Дмитриевна, аспирантка кафедры «Оборудование и технологии полиграфического производства».

СКИТЧЕНКО Виктория Викторовна, студентка гр. ТП-312 нефтехимического института ОмГТУ.

СЕРДЮК Ольга Евгеньевна, студентка гр. ТП-312 нефтехимического института ОмГТУ.

Адрес для переписки: toschakova.julia@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13.04.2015 г.

© С. Н. Литунов, Ю. Д. Тощакова, В. В. Скитченко, О. Е. Сердюк

Книжная полка

Стефанов, С. И. Термины в полиграфии / С. И. Стефанов. — М. : Книга по требованию, 2014. — 370 с. — ISBN 978-5-518-94716-0.

В словаре собраны устоявшиеся термины по цвету и рекламе, используемые в упаковочной, этикеточной и печатной индустрии. В словаре также даны определения дефектов, возникающих при изготовлении печатной продукции. Общее количество терминов на русском языке — 9151. Для большего взаимопонимания в скобках приведены их английские соответствия (11750 терминов). Таким образом, пользователь может найти в словаре как русские, так и соответствующие им английские термины и их толкования на русском языке. Общее количество терминов — 20901 единица на двух языках. Словарь может помочь полиграфистам, производителям и заказчикам печатной продукции, рекламистам, дизайнерам, учащимся по специальностям, связанным с полиграфической и упаковочной индустрией, переводчикам при работе с русскими и английскими текстами полиграфии, упаковки, дизайна и печатной рекламы.

К РАЗРАБОТКЕ ТЕСТОВОГО ОБРАЗЦА СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКОГО ТЕКСТА НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫЩЕННОСТИ ТЕКСТОВОГО НАБОРА, СОЗДАННОГО ЕДИНИЧНЫМИ СИМВОЛАМИ

В статье описывается программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора электронных и печатных публикаций. Показана возможность модернизации метода, обеспечивающей универсализацию его использования относительно русскоязычных текстов, рассмотрены вопросы разработки соответствующего тест-объекта.

Ключевые слова: текстовый набор, насыщенность текстового набора, программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора печатных и электронных публикаций, универсальный тест-объект.

В Омском государственном техническом университете был разработан программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора печатных и электронных публикаций с использованием инструментария программы для обработки изображений Adobe Photoshop [1–4], а совместно с коллегами из Белорусского государственного технологического университета — основанный на вышеуказанном методе способ определения степени заполнения полосы набора текстом [5, 6].

Недостатком в данном случае является использование выбираемых для исследования русскоязычных текстов, посимвольное содержание которых является различным. Модернизацией метода являлось бы использование текстового тест-образца, содержащего такие количества символов русскоязычного текста, включая межсловные пробелы, которые соответствовали бы частоте их встречаемости. Это позволит сделать метод универсальным и избавит от необходимости выбирать в качестве образцов конкретные тексты для исследования.

Для реализации проблемы универсализации на первом этапе были определены частоты встречаемости символов в составе русскоязычных текстов на общую тему и среднестатистическая длина русского слова — для определения частоты встречаемости межсловных пробелов [7, 8].

Целью данного исследования — второго этапа реализации проблемы универсализации метода и разработки тестового образца — являлось определение насыщенности текстового набора, создаваемого единичными символами. Это необходимо для расчета насыщенности текстового набора тестового образца,

набранного конкретным шрифтом с конкретными параметрами набора.

Методика создания тестового образца текстового набора, сформированного единичными символами, заключалась в следующем.

Набор текста единичными символами осуществлялся в прикладной программе для набора и форматирования текста Microsoft Office Word. Набор текста производится в колонке шириной 165 мм и высотой 257 мм определенной гарнитурой шрифта заданного начертания и кегля с заданным интерлиньяжем. Для обеспечения однородности межсловных пробелов текст набирается с выключкой влево с программным делением на строки. Однородность заполнения строк достигается за счет набора текста без деления на абзацы. Пример тестового образца текста, набранного единичным символом, показан на рис. 1.

Насыщенность L_i текстового набора электронных и печатных публикаций, созданного единичными символами, производилась согласно [4]. Данные измерений сгруппированы в таблицы, аналогичные табл. 1.

На основании проведенного исследования установлены:

— значения насыщенности L_i электронного текстового набора 24 сочетаний вариантов гарнитур, насыщенности, кегля шрифта и интерлиньяжа (табл. 2). Среднеквадратичное отклонение установленных значений не превышает 0,6 усл. ед., что составляет 0,23 %;

— значения насыщенности L_i текстового набора печатных публикаций 4 сочетаний вариантов гарнитур, начертаний, кегля шрифта, интерлиньяжа (табл. 3).

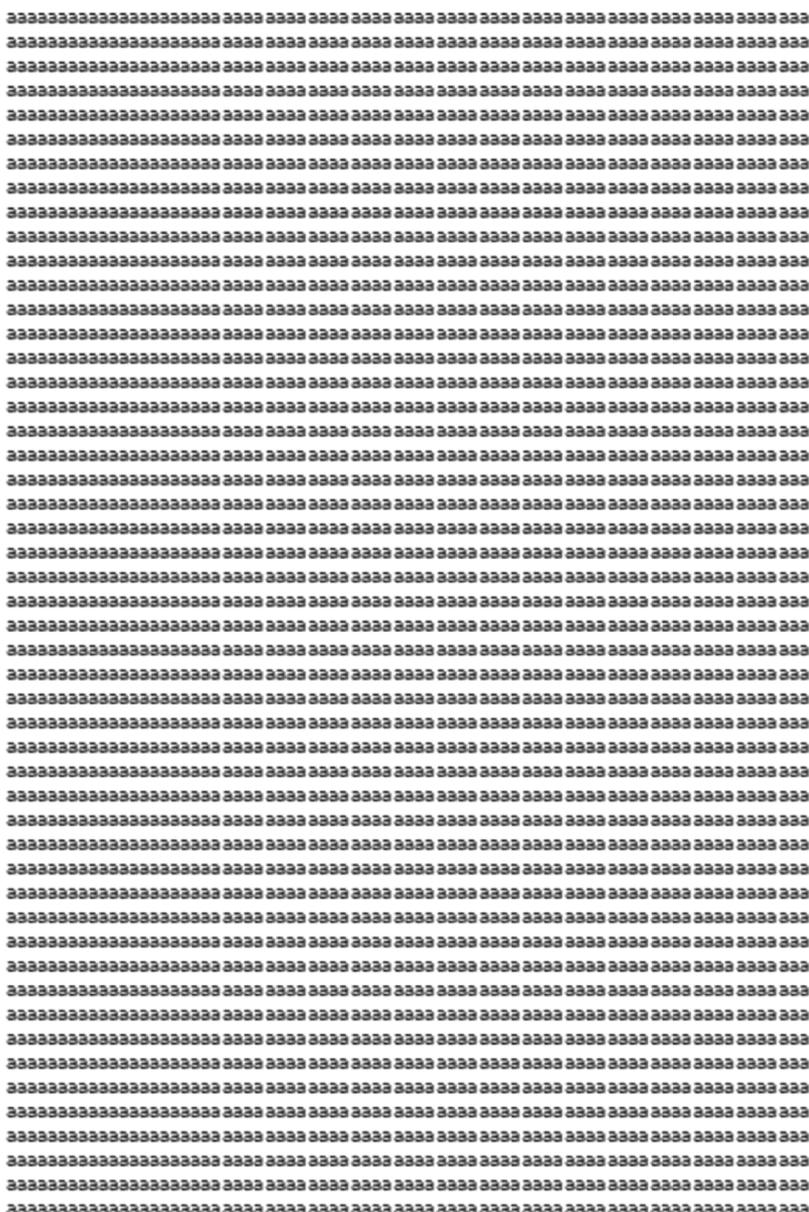


Рис. 1. Тестовый образец текста, набранного единичным символом «а», шрифтом гарнитуры Тахома прямого светлого начертания кегля 12 пт с интерлиньяжем 14,4 пт

Среднеквадратичное отклонение установленных значений не превышает 0,64 усл. ед., что составляет 0,25 %.

Таким образом, полученные данные могут быть использованы для расчета насыщенности текстового набора тестового образца, набранного конкретным шрифтом с конкретными параметрами набора, и формирования тестовых образцов электронных и печатных текстов для использования в модернизированном методе определения насыщенности текстового набора.

Библиографический список

1. Сысуев, И. А. Программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора электронных публикаций / И. А. Сысуев // Динамика систем, механизмов, машин : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. — Омск : ОмГТУ, 2009. — С. 327–330.

2. Григорова, Ю. С. Программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора печатных публикаций / Ю. С. Григорова, О. А. Зырянова, И. А. Сысуев, О. А. Тимошенко // Полиграфия: технология, оборудование, материалы : материалы заоч. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Омск : ОмГТУ, 2010. — С. 54–58.

3. Воробьева, А. С. Насыщенность текстового набора электронных публикаций / А. С. Воробьева, И. А. Сысуев // Полиграфия: технология, оборудование материалы : матер. заоч. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Омск : ОмГТУ, 2010. — С. 39–45.

4. Воробьева, А. С. Программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора печатных и электронных публикаций / А. С. Воробьева, Ю. С. Григорова, О. А. Зырянова, И. А. Сысуев, О. А. Тимошенко // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — Омск, 2010. — № 2 (90). — С. 228–231.

5. Пат. 17388 Белоруссия, МПК G 01 D 21/00. Способ определения степени заполнения полосы набора текстом / Косо-

Таблица 1

Насыщенность (уровень яркости) текстового набора электронного текста, набранного единичными символами, шрифтом гарнитуры Тахома прямого светлого начертания кегля 12 пт с интерлиньяжем 14,4 пт

Символ	Насыщенность (средний уровень яркости), L_i , усл. ед.	Символ	Насыщенность (средний уровень яркости), L_i , усл. ед.
а	197,4±0,56	А	194,3±0,50
б	185,7±0,37	Б	185,8±0,42
в	193,3±0,47	В	178,3±0,42
г	216,3±0,37	Г	210,5±0,34
д	189,2±0,51	Д	177,9±0,31
е	197,5±0,62	Е	190,3±0,30
ё	190,4±0,37	Ё	183,9±0,28
ж	202,3±0,50	Ж	189,9±0,43
з	203,5±0,40	З	193,6±0,37
и	202,7±0,37	И	186,9±0,46
й	189,4±0,50	Й	175,6±0,37
к	203,1±0,38	К	192,6±0,40
л	206,5±0,34	Л	197,5±0,62
м	202,9±0,43	М	187,7±0,50
н	207,1±0,50	Н	196,5±0,40
о	203,9±0,48	О	197,1±0,48
п	206,6±0,45	П	197,6±0,37
р	190,5±0,34	Р	193,5±0,40
с	208,7±0,37	С	203,9±0,46
т	215,9±0,46	Т	211,6±0,40
у	202,3±0,37	У	203,8±0,47
ф	183,6±0,48	Ф	189,8±0,55
х	205,6±0,50	Х	196,5±0,40
ц	201,2±0,42	Ц	190,8±0,39
ч	213,1±0,46	Ч	205,9±0,28
ш	202,4±0,60	Ш	192,2±0,51
щ	198,5±0,58	Щ	187,5±0,34
ъ	203,8±0,61	Ъ	199,5±0,40
ы	203,6±0,37	Ы	190,2±0,51
ь	206,1±0,48	Ь	195,1±0,46
э	202,5±0,62	Э	192,9±0,43
ю	201,8±0,47	Ю	192,8±0,39
я	199,4±0,37	Я	186,8±0,47
.	244,5±0,17	-	244,5±0,17
,	232,5±0,17	пробел	255

ва М. М., Зильберглейт М. А., Токарь О. В., Сысуев И. А., Григорова Ю. С., Тимощенко О. А.; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. технолог. ун-т. — № а 20110681; заявл. 17.05.2011; опубл. 30.08.2013. — 3 с.

6. Пат. 17390 Белоруссия, МПК G 01 D 21/00. Способ определения степени заполнения полосы набора текстом / Косова М. М., Зильберглейт М. А., Токарь О. В., Сысуев И. А., Григорова Ю. С., Тимощенко О. А.; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. технолог. ун-т. — № а 20110943; заявл. 07.07.2011; опубл. 30.08.2013. — 3 с.

Таблица 2

Параметры текстового набора электронных тестовых образцов

№ п/п	Гарнитура шрифта	Начертание	Кегль, пт	Интерлиньяж, пт
1	Тахома	прямое светлое	12	14,4
2	Тахома	прямое светлое	12	14
3	Тахома	прямое светлое	12	15
4	Тахома	прямое светлое	13	15,6
5	Тахома	прямое светлое	13	15
6	Тахома	прямое светлое	13	16
7	Джорджия	прямое светлое	12	14,4
8	Джорджия	прямое светлое	12	14
9	Джорджия	прямое светлое	12	15
10	Джорджия	прямое светлое	13	15,6
11	Джорджия	прямое светлое	13	15
12	Джорджия	прямое светлое	13	16
13	Тахома	прямое полужирное	12	14,4
14	Тахома	прямое полужирное	12	14
15	Тахома	прямое полужирное	12	15
16	Тахома	прямое полужирное	13	15,6
17	Тахома	прямое полужирное	13	15
18	Тахома	прямое полужирное	13	16
19	Джорджия	прямое полужирное	12	14,4
20	Джорджия	прямое полужирное	12	14
21	Джорджия	прямое полужирное	12	15
22	Джорджия	прямое полужирное	13	15,6
23	Джорджия	прямое полужирное	13	15
24	Джорджия	прямое полужирное	13	16

Таблица 3

Параметры текстового набора тестовых образцов печатных публикаций

№ п/п	Гарнитура шрифта	Начертание	Кегль, пт	Интерлиньяж, пт
1	Таймс	прямое светлое	10	11
2	Таймс	прямое светлое	10	12
3	Таймс	прямое полужирное	14	14,5
4	Таймс	прямое полужирное	14	15

7. Сысуев, И. А. Модернизация метода определения насыщенности текстового набора печатных и электронных публикаций / И. А. Сысуев, Е. А. Державина, И. В. Пруд // Инновационные решения при реструктуризации логистических систем: материалы заоч. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Омск, 2014. — С. 44–48.

8. Сысуев, И. А. К вопросу о разработке универсального тест-объекта для определения насыщенности текстового набора русскоязычных текстов / И. А. Сысуев, И. В. Пруд, Е. А. Державина // Омский научный вестник. Сер. Приборы,

СЫСУЕВ Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Оборудование и технологии полиграфического производства» Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

ПРУД Ирина Валерьевна, ассистент кафедры «Оборудование и технологии полиграфического производства», магистрант гр. ТПП-514 нефтехимического института ОмГТУ.

ДЕРЖАВИНА Екатерина Александровна, магистрант гр. ТПП-514 нефтехимического института ОмГТУ.

ВДОВИНА Мария Владимировна, кандидат филологических наук, старший преподаватель кафедры английской филологии и лингвокультурологии Санкт-Петербургского государственного университета.

Адрес для переписки: sia1960@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.04.2015 г.

© И. А. Сысоев, И. В. Пруд, Е. А. Державина, М. В. Вдовина

УДК 681.3/655.244

**И. А. СЫСУЕВ
И. В. ПРУД
Е. А. ДЕРЖАВИНА
М. В. ВДОВИНА**

**Омский государственный
технический университет**

**Санкт-Петербургский
государственный университет**

ТЕСТОВЫЙ ОБРАЗЕЦ СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКОГО РУССКОЯЗЫЧНОГО ТЕКСТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОСТИ ТЕКСТОВОГО НАБОРА ЭЛЕКТРОННЫХ И ПЕЧАТНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

В статье рассматривается программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора печатных и электронных публикаций. Показана возможность модернизации метода, обеспечивающей универсализацию его использования относительно русскоязычных текстов за счет использования специального тестового образца. Приведена методика формирования универсального тест-объекта.

Ключевые слова: текстовый набор, насыщенность текстового набора, программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора печатных и электронных публикаций, универсальный тест-объект.

В [1–2] были рассмотрены вопросы модернизации программно-инструментального метода определения насыщенности текстового набора электронных и печатных публикаций с использованием инструментария программы для обработки изображений Adobe Photoshop [3–6].

Модернизация метода заключается в использовании текстового тест-образца, содержащего такие количества символов русскоязычного текста, включая межсловные пробелы, которые соответствуют частоте их встречаемости. Это позволяет сделать метод универсальным и избавляет от необходимости выбирать в качестве образцов конкретные тексты для исследования.

Для реализации проблемы универсализации на первом этапе были определены частоты встречаемости символов в составе русскоязычных текстов на общую тему и среднестатистическая длина рус-

ского слова — для определения частоты встречаемости межсловных пробелов [1, 2]. На втором этапе определены насыщенности текстового набора, создаваемого единичными символами, что необходимо для расчета насыщенности текстового набора тестового образца, набранного конкретным шрифтом с конкретными параметрами набора.

Целью данного исследования — третьего этапа реализации проблемы универсализации метода и разработки тестового образца — являлось формирование тестового образца и определение его расчетной и фактической насыщенности.

Методика формирования тестового образца текстового набора среднестатистического русскоязычного текста заключалась в следующем.

После задания параметров текстового набора: гарнитуры, насыщенности, кегля шрифта и интерлиньяжа необходимо определить количество сим-

Таблица 1
Количество символов тестового образца среднестатистического текста
на русском языке, набранного шрифтом гарнитуры Тахома
прямого светлого начертания кегля 12 пт с интерлиньяжем 14,4 пт
и его предполагаемая насыщенность

Символ	Насыщенность L_i единичного символа, усл. ед.	Частота P_i встречаемости символа	$L_i \cdot P_i$	Количество $k_{i, п.н.}$ символов на полосе тестового образца
1	2	3	4	5
а	197,4	0,06143	12,13	227,28
б	185,7	0,01369	2,54	50,66
в	193,3	0,03329	6,43	123,17
г	216,3	0,01460	3,16	54,00
д	189,2	0,02376	4,5	87,93
е	197,5	0,06915	13,65	255,85
ё	190,4	0,00001	0,01	0,05
ж	202,3	0,00952	1,93	35,22
з	203,5	0,01355	2,76	50,14
и	202,7	0,05827	11,81	215,59
й	189,4	0,00813	1,54	30,06
к	203,1	0,02777	5,64	102,75
л	206,5	0,03675	7,59	135,98
м	202,9	0,02449	4,97	90,60
н	207,1	0,05115	10,59	189,25
о	203,9	0,08962	18,27	331,59
п	206,6	0,01937	4,01	71,68
р	192,7	0,03275	6,31	121,18
с	208,7	0,04106	8,57	151,94
т	215,9	0,04976	10,74	184,10
у	202,3	0,02247	4,54	83,12
ф	183,6	0,00075	0,14	2,76
х	205,6	0,00705	1,45	26,10
ц	201,2	0,00216	0,44	8,00
ч	213,1	0,01306	2,78	48,31
ш	202,4	0,00623	1,26	23,04
щ	198,5	0,00331	0,66	12,25
ъ	203,8	0,00021	0,04	0,79
ы	203,6	0,01440	2,93	53,29
ь	206,1	0,01576	3,25	58,32
э	202,5	0,00212	0,43	7,84
ю	201,8	0,00545	1,1	20,16
я	199,4	0,01659	3,31	61,39
.	244,5	0,01003	2,45	37,11
,	232,5	0,02104	4,89	77,85
-	244,5	0,00181	0,44	6,71
пробел	255	0,15488	39,5	573,04

волов, содержащихся на полосе набора тестового образца.

Для этого единичный символ «а», относительная (к кеглю) ширина которого примерно равна среднестатистической математически ожидаемой ширине символа данного шрифта, набирается в прикладной программе для набора и форматирования текста Microsoft Office Word. Набор производится на полосе набора шириной 165 мм и высотой 257 мм

с выключкой влево с программным делением на строки и без деления на абзацы, с целью обеспечения однородности текстового набора. Общее количество $k_{п.н.}$ символов на полосе определяется с помощью инструмента «Статистика».

Используя полученное значение общего количества символов на полосе набора и значения частот встречаемости символов, определенных на первом этапе исследования [1, 2], рассчитывают количество

1	2	3	4	5
А	194,3	0,00082	0,16	3,03
Б	185,8	0,00039	0,07	1,43
В	178,3	0,00134	0,24	4,95
Г	210,5	0,00067	0,14	2,49
Д	177,9	0,00072	0,13	2,66
Е	190,3	0,00030	0,06	1,10
Ё	183,9	0,00000	0,00	0,00
Ж	189,9	0,00016	0,03	0,61
З	193,6	0,00028	0,06	1,05
И	186,9	0,00170	0,32	6,27
Й	175,6	0,00033	0,06	1,22
К	192,6	0,00066	0,13	2,46
Л	197,5	0,00064	0,13	2,37
М	187,7	0,00111	0,21	4,09
Н	196,5	0,00141	0,28	5,20
О	197,1	0,00114	0,22	4,22
П	197,6	0,00076	0,15	2,82
Р	193,5	0,00071	0,14	2,64
С	203,9	0,00085	0,17	3,14
Т	211,6	0,00079	0,17	2,91
У	203,8	0,00021	0,04	0,78
Ф	189,8	0,00011	0,02	0,41
Х	196,5	0,00010	0,02	0,37
Ц	190,8	0,00012	0,02	0,43
Ч	205,9	0,00024	0,05	0,90
Ш	192,2	0,00008	0,02	0,31
Щ	187,5	0,00000	0,00	0,02
Ъ	199,5	0,00000	0,00	0,00
Ы	190,2	0,00000	0,00	0,00
Ь	195,1	0,00000	0,00	0,00
Э	192,9	0,00033	0,06	1,23
Ю	192,8	0,00000	0,00	0,00
Я	186,8	0,00024	0,05	0,90
Суммарный показатель		0,991651	209,88	
Расчетная (предполагаемая) насыщенность текстового набора тестового образца			211,65	

Примечание. Общее количество символов на полосе тестового образца 3700

каждого из исследуемых символов на полосе набора:

$$k_{i \text{ п.н.}} = P_i k_{\text{п.н.}} \quad (1)$$

где $k_{i \text{ п.н.}}$ — количество i -го символа на полосе набора,
 P_i — частота встречаемости i -го символа,
 $k_{\text{п.н.}}$ — общее количество символов на полосе набора.

Данные расчетов группируются в таблицы, аналогичные табл. 1.

Формирование тестового образца текстового набора среднестатистического русскоязычного текста производится путем набора единичных символов на полосе тестового образца. Набор символов выполняется последовательно, в соответствии с полученными по (1) значениями количества $k_{i \text{ п.н.}}$ каждого из

исследуемых символов на полосе набора. Набор текста производится как и ранее в прикладной программе для набора и форматирования текста Microsoft Office Word в колонке шириной 165 мм и высотой 257 мм. Для обеспечения однородности набора и достоверности результатов измерения текст набирается с выключкой влево с программным делением на строки, без переносов, без деления на абзацы и без использования межсловных пробелов (они набираются последовательно, как и прочие символы). Полученный тестовый образец текста показан на рис. 1.

Расчет математически ожидаемой (предполагаемой) насыщенности H_p текстового набора универсального тест-объекта (образца) производится

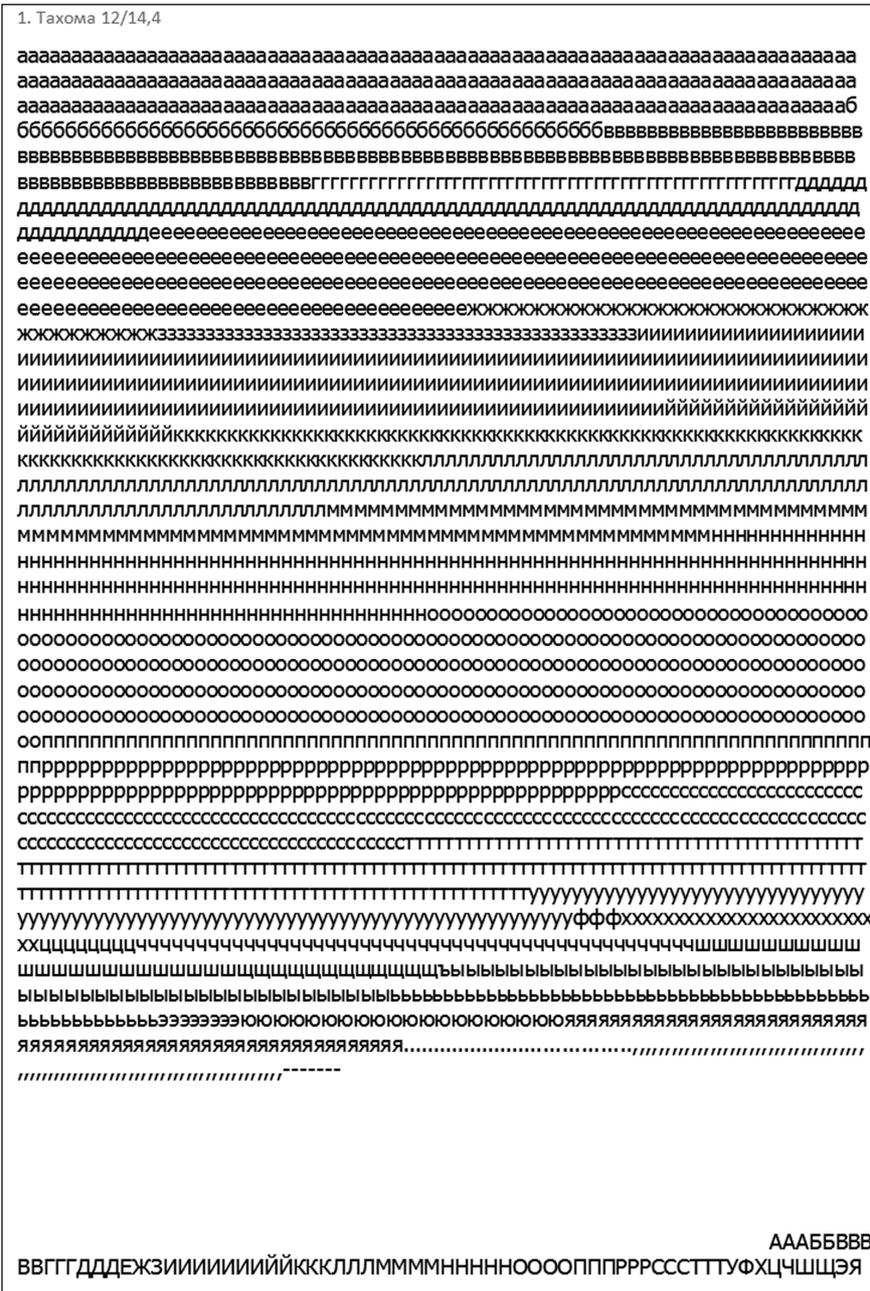


Рис. 1. Тестовый образец среднестатистического текста на русском языке, набранного шрифтом гарнитуры Тахома прямого светлого начертания кегля 12 пт с интерлиньяжем 14,4 пт

$$H_p = \frac{\sum_{i=1}^{70} (L_i \times P_i)}{\sum_{i=1}^{70} P_i}, \quad (2)$$

где L_i — насыщенность единичного символа (текстового набора, созданного единичными символами), P_i — частота встречаемости i -го символа (всего использовано 70 символов — строчные и прописные символы русского алфавита (66 символов), а также наиболее часто встречающиеся пунктуационные и орфографические знаки: точка, запятая, дефис и межсловный пробел [2]).

В ходе исследования рассчитаны значения математически ожидаемой (предполагаемой) насыщенности H_p текстового набора универсального тест-объекта (образца):

— электронного текстового набора 24 сочетаний вариантов гарнитур, насыщенности, кегля шрифта и интерлиньяжа (табл. 2);

— текстового набора печатных публикаций четырех сочетаний вариантов гарнитур, начертаний, кегля шрифта, интерлиньяжа (табл. 3).

Измерение насыщенности $H_{изм}$ текстового набора универсального тест-объекта (образца) среднестатистического русскоязычного текста электронных и печатных публикаций, производилась согласно [3]. При этом область выделения составляла всю полосу набора целиком.

Данные измерений, а также среднестатистические отклонения между расчетными H_p и экспериментально определенными значениями $H_{изм}$ насыщенности текстового набора представлены соответственно в табл. 2 и 3.

Таблица 2

**Насыщенность электронного текстового набора
среднестатистического русскоязычного текста, полученного с различными параметрами**

№ п/п	Гарнитура	Начертание	Кегль, пт	Интер-линьяж, пт	Насыщенность текстового набора		Средне-статистическое отклонение, усл. ед.
					расчетная (H_p), усл. ед.	измеренная ($H_{изм}$), усл. ед.	
1	Тахома	прямое светлое	12	14,4	211,64	211,66	0,02
2	Тахома	прямое светлое	12	14	210,5	210,39	0,11
3	Тахома	прямое светлое	12	15	214,98	214,92	0,06
4	Тахома	прямое светлое	13	15,6	217,69	217,67	0,02
5	Тахома	прямое светлое	13	15	214,22	214,3	0,08
6	Тахома	прямое светлое	13	16	218,57	218,48	0,09
7	Джорджия	прямое светлое	12	14,4	214,97	215,02	0,05
8	Джорджия	прямое светлое	12	14	214,14	214,1	0,04
9	Джорджия	прямое светлое	12	15	216,03	216,08	0,05
10	Джорджия	прямое светлое	13	15,6	218,53	218,56	0,03
11	Джорджия	прямое светлое	13	15	216,7	216,63	0,07
12	Джорджия	прямое светлое	13	16	219,39	219,37	0,02
13	Тахома	прямое полужирное	12	14,4	197,78	197,72	0,06
14	Тахома	прямое полужирное	12	14	196,09	196,06	0,03
15	Тахома	прямое полужирное	12	15	200,25	200,27	0,02
16	Тахома	прямое полужирное	13	15,6	195,82	195,83	0,01
17	Тахома	прямое полужирное	13	15	192,45	192,47	0,02
18	Тахома	прямое полужирное	13	16	198,35	198,28	0,07
19	Джорджия	прямое полужирное	12	14,4	205,4	205,39	0,01
20	Джорджия	прямое полужирное	12	14	204,55	204,47	0,08
21	Джорджия	прямое полужирное	12	15	207,93	207,92	0,01
22	Джорджия	прямое полужирное	13	15,6	209,69	209,71	0,02
23	Джорджия	прямое полужирное	13	15	207,04	207,08	0,04
24	Джорджия	прямое полужирное	13	16	211,3	211,27	0,03

Таблица 3

**Насыщенность текстового набора печатной публикации
среднестатистического русскоязычного текста, полученного с различными параметрами**

№ п/п	Гарнитура	Начертание	Кегль, пт	Интер-линьяж, пт	Насыщенность текстового набора		Средне-статистическое отклонение, усл. ед.
					расчетная (H_p), усл. ед.	измеренная ($H_{изм}$), усл. ед.	
1	Таймс	прямое светлое	10	11	224,05	227,01	2,96
2	Таймс	прямое светлое	10	12	222,23	228,06	5,83
3	Таймс	прямое полужирное	14	14,5	215,85	217,03	1,18
4	Таймс	прямое полужирное	14	15	217,56	218,08	0,52

На основании проведенных исследований 24 вариантов универсальных тест-объектов (образцов) среднестатистического русскоязычного текста электронных публикаций установлено, что расчетная математически ожидаемая (предполагаемая) насыщенность находится в интервале — 192,46 — 219,39 усл. ед., а среднестатистическое отклонение расчетных и экспериментально определенных значений не превышает 0,11 усл. ед., что составляет 0,04 %.

На основании проведенных исследований четырех вариантов универсальных тест-объектов (образцов) среднестатистического русскоязычного текста печатных публикаций установлено, что расчетная математически ожидаемая (предполагаемая) насыщенность находится в интервале — 215,85 — 224,05 усл. ед., а среднестатистическое отклонение расчетных

и экспериментально определенных значений не превышает 5,83 усл. ед., что составляет 2,28 % (здесь более высокие значения среднестатистического отклонения обусловлены наличием операции сканирования в методе определения насыщенности текстового набора).

Полученные результаты подтверждают работоспособность модернизированного программно-инструментального метода определения насыщенности текстового набора электронных и печатных публикаций.

Таким образом, является целесообразным практическое использование разработанного универсального тест-объекта (образца) среднестатистического русскоязычного текста для определения насыщенности текстового набора электронных и печатных публикаций.

Библиографический список

1. Сысуев, И. А. Модернизация метода определения насыщенности текстового набора печатных и электронных публикаций / И. А. Сысуев, Е. А. Державина, И. В. Пруд // Инновационные решения при реструктуризации логистических систем : матер. заоч. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Омск, 2014. — С. 44–48.
2. Сысуев, И. А. К вопросу о разработке универсального тест-объекта для определения насыщенности текстового набора русскоязычных текстов / И. А. Сысуев, И. В. Пруд, Е. А. Державина // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — Омск, 2015. — № 1 (137). — С. 101–107.
3. Сысуев, И. А. Программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора электронных публикаций / И. А. Сысуев // Динамика систем, механизмов, машин : матер. VII Междунар. науч.-техн. конф. — Омск : ОмГТУ, 2009. — С. 327–330.
4. Григорова, Ю. С. Программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора печатных публикаций / Ю. С. Григорова, О. А. Зырянова, И. А. Сысуев, О. А. Тимощенко // Полиграфия: технология, оборудование, материалы : матер. заоч. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Омск : ОмГТУ, 2010. — С. 54–58.
5. Воробьева, А. С. Насыщенность текстового набора электронных публикаций / А. С. Воробьева, И. А. Сысуев // Полиграфия: технология, оборудование материалы : матер. заоч. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — Омск : ОмГТУ, 2010. — С. 39–45.

б. Воробьева, А. С. Программно-инструментальный метод определения насыщенности текстового набора печатных и электронных публикаций / А. С. Воробьева, Ю. С. Григорова, О. А. Зырянова, И. А. Сысуев, О. А. Тимощенко // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии — Омск, 2010. — № 2 (90). — С. 228–231.

СЫСУЕВ Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Оборудование и технологии полиграфического производства» Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

ПРУД Ирина Валерьевна, ассистент кафедры «Оборудование и технологии полиграфического производства», магистрант гр. ТПП-514 нефтехимического института ОмГТУ.

ДЕРЖАВИНА Екатерина Александровна, магистрант гр. ТПП-514 нефтехимического института ОмГТУ.

ВДОВИНА Мария Владимировна, кандидат филологических наук, старший преподаватель кафедры английской филологии и лингвокультурологии Санкт-Петербургского государственного университета.

Адрес для переписки: sia1960@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.04.2015 г.

© И. А. Сысуев, И. В. Пруд, Е. А. Державина, М. В. Вдовина

ЮБИЛЕИ

К 50-летию полиграфического образования в Сибири

Поздравляем коллектив кафедры
«Оборудование и технологии полиграфического производства» с юбилеем —
50-летием научно-педагогической деятельности!

На основании приказа МВиССО РСФСР № 665 от 18 сентября 1964 г. в Омском политехническом институте на факультете горячей обработки металлов были открыты две новые специальности: 1109 «Технология полиграфического производства» и 0515 «Полиграфические машины». В 1965 г. был впервые осуществлен прием студентов в количестве 100 человек. В это время подготовку специалистов для полиграфии осуществляли Московский полиграфический институт и Украинский полиграфический институт в г. Львове, но специалистов для предприятий в связи бурным ростом полиграфической промышленности в СССР катастрофически не хватало.

В 1970 году состоялся первый выпуск (66 человек) инженеров-технологов и инженеров-механиков и был образован полиграфический факультет (просуществовавший до 2004 г.) в составе двух кафедр: «Технология полиграфического производства» и «Полиграфические машины».

За прошедшие годы коллективом кафедры подготовлено свыше 2800 инженеров-технологов, бакалавров и магистров полиграфического производства. Кафедрой «Полиграфические машины», а с 2009 г. кафедрой «Оборудование и технологии полиграфического производства» подготовлено свыше 2000 инженеров-механиков, бакалавров и магистров.

География распределения молодых специалистов распространялась с юга на север — от Узбекистана до Салехарда и с запада на восток — от Ленинграда до Камчатки. Выпускники кафедры и факультета работают сегодня на полиграфических предприятиях, в издательствах, в сфере графических услуг во всех федеральных округах России, в республиках ближнего и дальнего зарубежья. Среди них государственные служащие федерального и регионального рангов, руководители крупных и малых предприятий полиграфической промышленности, ученые, общественные деятели, предприниматели среднего и малого бизнеса. Большинство специалистов работает в Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах Российской Федерации.

Выпускники с теплотой и любовью отзываются о преподавателях вашей кафедры, которые на протяжении многих лет готовят высококлассных специалистов в области полиграфии.

Желаем коллективу кафедры «Оборудование и технологии полиграфического производства» здоровья, оптимизма и дальнейших успехов в подготовке высококвалифицированных специалистов для полиграфической промышленности России!

Коллектив сотрудников Омского государственного технического университета
Редакция журнала «Омский научный вестник»

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ТЯЖЕЛОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА К СЖИГАНИЮ В ТОПКАХ КОТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ УСТАНОВОК

Рассмотрены направления развития методов топливподготовки тяжелого жидкого топлива нефтяного происхождения для их эффективного сжигания в топках котлов, печей и других топливосжигающих установках. Сформированы комплексные требования к физико-химическим, энергетическим и экологическим свойствам тяжелых топлив. Предложен перечень мероприятий по оптимальной подготовке названного топлива для его эффективного сжигания.

Ключевые слова: мазуты, топливподготовка, оптимизация, энергетические и экологические свойства, продукты сгорания, эмульгирование, барбатирование.

Поиск путей оптимизации топочною процесса в топливосжигающих установках невозможен без глубокого знания и понимания особенностей современных и перспективных топлив, применяемых в энергетике. Фундаментом для глубокого понимания процессов, протекающих при сжигании в ограниченных объемах топочных камер, должно служить изучение свойств и характеристик топлива, изменяющихся как в процессе его подготовки к сжиганию, так и в процессе самого сжигания. Именно с этих позиций ниже рассмотрены жидкие топлива и их подготовка к сжиганию.

К жидкому котельному топливу относится, в первую очередь, мазут, вырабатываемый из нефти, а также синтетический мазут (смола), получаемая из сланцев, угля, торфа, древесины и т. д. Исходные продукты производства мазута часто сами используются как топливо [1 – 3].

Качество отечественного мазута устанавливается ГОСТ 10585-75 (табл. 1). Часто по тем или иным причинам в топках энергоустановок сжигается специальное топливо: газотурбинное (ГОСТ 10433-75), дизельное (ГОСТ 1667-68), сланцевое масло (ГОСТ 4806-79), топливо мартеновских печей (ГОСТ 14298-79), керосин и печное топливо (ТУ 3800150-71).

В качестве жидкого топлива в котельных наибольшее распространение получили топочные мазуты — продукты переработки нефти. По способу производства различают прямогонные мазуты и крекинг-мазуты. В соответствии с ГОСТ 10585-75 в отопительных котельных допускается применение топочных мазутов марок 40 и 100. Кроме топочных мазутов в котельных иногда используются флотские мазуты марок Ф5 и Ф12, которые относятся к категории легких топлив. Топочные же мазуты марок 40 относятся к категории средних топлив, марок 100 — к категории тяжелых топлив [2, 3].

Мазут — одна из разновидностей остаточного жидкого топлива, получаемого при перегонке или крекинге нефти.

Оптимизация подготовки жидкого топлива перед сжиганием сводится к определению и изучению состава, химических и физических характеристик, теплотехнических показателей, а также к воздействию на характеристики топлива специальной обработкой (подогрев, ввод присадок, промывка, фильтрация, обессоливание, стабилизация и т. п.).

Основной прием оптимизации — это определение состава сжигаемого топлива, необходимого для оценки возможностей и путей его эффективного сжигания при обеспечении высокой надежности топочной камеры и минимальной генерации вредных выбросов. Другой путь — это нахождение и применение того или иного способа придания топливу необходимых для оптимизации свойств.

Как и нефть, мазуты — это сложные коллоидные системы, состоящие из углеводородов и гетероциклических соединений. Мазуты характеризуются высокими вязкостью, плотностью, содержанием высокомолекулярных веществ и твердых продуктов уплотнения смолистоасфальтового характера (асфальтены, карбены и карбоиды). Сера, азот и ванадий, содержащиеся в нефти, сконцентрированы в основном и мазутах. Все другие жидкие топлива — это промежуточные продукты перегонки нефти.

Жидкие топлива, включая нефть, состоят в основном из пяти элементов: углерода (С), водорода (Н), кислорода (O_2), азота (N) и серы (S). Соотношение С/Н в жидких топливах не постоянно и является важным энергетическим показателем.

Основными компонентами жидкого топлива являются углеводороды. В мазутах преобладают полициклические углеводороды и углеводороды ароматического, нафтенового ряда. Крекинг-остатки содержат в основном полициклические углеводороды и углеводороды непредельного ряда (олефины и асфальтены). Компоненты мазута при низкотемпературной прямой перегонке остаются в жидком состоянии, а при крекинге их большая часть трансформируется в твердые продукты смолисто-асфальто-

Показатель	Марка			
	Ф5	Ф12	40	100
Вязкость условная при 50 °С, не более, °ВУ	5,0	12,0	—	—
Вязкость условная при 80 °С, не более, °ВУ	—	—	8,0	16,0
Зольность, %, не более	0,05	0,10	0,12	0,14
Содержание механических примесей, %, не более	0,10	0,12	0,80	1,5
Содержание воды, %, не более		0,3	1,5	1,5
Содержание серы для мазута, %, не более:				
малосернистого	—		0,5	
сернистого	2,0	—	2,0	
высокосернистого	—	—	3,5	3,5
Температура вспышки, °С, не ниже:				
в закрытом тигле	80	90	—	—
в открытом тигле	—	—	90	110
Температура застывания мазута, °С:				
из невысокопарафинистой нефти	— 5	— 8	10	25
из высокопарафинистой нефти	—	—	25	42
Теплота сгорания мазута (низшая) в пересчете на сухое топливо, МДж/кг (ккал/кг), не менее:				
малосернистый и сернистый	41,454 (9870)	41,454 (9870)	40,740 (9700)	40,530 (9650)
высокосернистый	—	—	39,90 (9650)	39,90 (9650)
Плотность при 20 °С, г/см ³ , не более	—	—	—	1,015

вого характера. Смолы целиком переходят в мазут. При переработке состав мазута по углеводородам изменяется в зависимости от температуры и давления [3].

Во-первых, в составе топлива нас интересуют концентрации веществ, способных в процессе сжигания преобразовываться во вредные газообразные и твердые вещества — это сера, азот, тяжелые углеводороды и т. п. Исходя из их концентрации выбирается способ сжигания и обработки топлива, очистки уходящих газов и профилактических мер по технике безопасности персонала и населения близлежащих районов.

Во-вторых, в топливе нас интересуют соотношения основных горючих компонентов, таких как углерод (С), водород (Н₂) и др. Именно от соотношения С/Н зависит температура сжигания и связанная с ней и другими факторами интенсивность сажеобразования, влияющая на излучающие характеристики факела и позволяющая конденсироваться на частицах сажи некоторым вредным веществам (канцерогенам и т. п.).

В-третьих, в топливе нас интересуют как вещества, способные выпадать в осадок и переходить (при определенных условиях) в твердые соединения, так и сами механические примеси топлива.

Увеличение содержания серы в исходном сырье для жидкого топлива неизбежно ведет к увеличению содержания серы в самом топливе. Удаляют серу из топлива (процесс обессеривания) пока редко, так как это требует больших капитальных затрат. Облагораживание топлива весьма перспективно, а затраты на его осуществление окупаются за счет сокращения затрат на очистку от серы и уменьшения потерь металла от коррозии.

Особое место в составе топлива занимают вода и механические примеси. Наличие механических примесей и воды в топливе выше норм, установлен-

ных ГОСТами, может быть вызвано нарушением технологии добычи, а также неправильной транспортировкой, выгрузкой и хранением топлива. Механические примеси из жидкого топлива удаляются фильтрацией, а вода — в отстойниках. Если воду удалить невозможно, то топливо часто сжигается в смеси с водой (в виде эмульсий) [1–4].

При систематическом насыщении водой доставляемого на объект мазута или другого жидкого топлива единственным способом, дающим возможность удовлетворительно эксплуатировать энергоустановки, является эмульгирование. Эмульгирование производится различными устройствами механического и гидравлического типов. Действие воды особенно заметно при высоком ее содержании в топливе. Наибольший положительный эффект влияния воды на горение зависит от ее содержания и качества эмульсии, т. е. степени перемешивания этой двухкомпонентной среды. При больших концентрациях вода в статических условиях образует в топливе «линзы», которые при одинаковой плотности располагаются на любом уровне [4, 5].

Заметное место в энергетике занимают и другие горючие топливные смеси. Это, в первую очередь, эмульсии смесей различных жидких топлив, водотопливные и топливные суспензии (жидкое топливо-угольная пыль и т. п.).

Однако оптимальным все же следует считать облагораживание топлива не на объекте, а при его изготовлении на нефтеперерабатывающем заводе. Промышленное облагораживание топлива потребует значительной реконструкции нефтеперерабатывающих заводов, а также создания и широкого внедрения нового оборудования разного масштаба и назначения.

Практика показала, что любое из жидких энергетических топлив для эффективного сжигания и обеспечения надежности топочного устройства и хвостов-

Характеристика современных жидких топлив, применяемых для отопительных котельных

Параметр	Топливо печное бытовое (ТПБ). ТУ 38-101-656-76	Смесь из 30% ТПБ и 70% мазута 40	Водомазутная эмульсия (ВМЭ-10)
Вязкость условная при 50 °С, °ВУ, не более	—	1	27
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с, не менее	6	55	—
Температура вспышки, °С, не менее: в закрытом тигле в открытом тигле	42 —	— Выше 100	— 75
Зольность, %, не более	0,02	0,05	0,14
Содержание, %, не более механических примесей воды серы азота	отсутств. след. 0,5–1,2 0,05–0,15	0,1 1,5 0,5–3,0 до 0,2	0,8–1,5 10,0 0,5–3,5 0,2–1,0
Температура застывания, °С, не выше	–15	4	25
Плотность при 20 °С, кг/м ³	390	940	950
Теплота сгорания топлива, МДж/кг	42,0	40,5	36,3

вых поверхностей нагрева котла должно пройти цикл подготовки. Степень и режимы подготовки определяются исходя из качества топлива.

Подготовка жидкого топлива к сжиганию в общем случае сводится к следующим мероприятиям:

- первичному подогреву с целью обеспечения вязкости, необходимой для транспортировки;
- подаче под давлением к сжигающим устройствам;
- подогреву до вязкости, обеспечивающей оптимальный режим работы форсунок;
- фильтрации;
- обработке присадками;
- обессоливанию и стабилизации.

Таким образом, обработка топлива присадками, его обессоливание и стабилизация относятся к приемам улучшения качества топлива с целью обеспечения условий оптимального сжигания.

Рассмотрим мероприятия, представляющиеся нам наиболее важными среди перечисленных выше.

Для жидкого топлива уровень вязкости, так же как и уровень рабочего давления, определяется применяемыми способами распыления, конструкциями и особенностями форсунок, а также требованиями, предъявляемыми к качеству сжигания.

Известны два способа изменения вязкости жидкого топлива: подогрев и смешение с другим менее вязким жидким топливом.

Наиболее широкое практическое применение получил способ подогрева топлива до необходимой вязкости.

Все жидкие топлива по вязкости могут быть условно разделены на две группы. К первой группе относятся топлива, имеющие при температуре 20 °С вязкость менее 2,0 °ВУ, ко второй — более 2,0 °ВУ. Подробнее рассмотрим вторую группу топлива, как наиболее характерную для энергетики. Топлива второй группы до процесса распыления должны быть подогреты до температуры, не нарушающей их первоначальный состав и обеспечивающей вязкость, необходимую для оптимальных условий сжигания. Под вязкостью, или внутренним трением, понимается свойство жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению молекул под влиянием действующих сил. Вязкость является важнейшей физической константой, характеризующей эксплуата-

ционные свойства нефтяных продуктов (котельного и дизельного топлива, масла и т. д.). При различных расчетах и контроле качества нефтяных продуктов определяют кинематическую вязкость. При исследованиях свойств жидкостей определяют также и динамическую вязкость.

При значениях кинематической вязкости более $75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ связь между указанными показателями вязкости определяется формулой

$$BU \approx 0,135 v_t \cdot 10^6 \text{ или } v_t \approx 7,3 BU_t \cdot 10^6, \quad (1)$$

где BU — условная вязкость мазута при температуре °ВУ; v_t — кинематическая вязкость мазута при температуре t , м²/с.

Между динамической и кинематической вязкостью существует зависимость

$$\mu_t = \rho_t \cdot v_t, \quad (2)$$

где μ_t — динамическая вязкость, н·с/м²; ρ_t — плотность жидкого топлива, кг/м³.

От вязкости топлива зависит скорость осаждения примесей и способность отстаивания воды.

Вода, механические примеси, агломераты смол и некоторых компонентов иногда уже находятся в жидком высоковязком топливе в виде стойкой эмульсии и могут значительно изменять вязкость. В определенных условиях при увеличении содержания воды вязкость нефтяных продуктов растет. Например, при $t = 50 \text{ °С}$ вязкость обезвоженного топлива отличается в два раза от вязкости водотопливной эмульсии со степенью обводненности от 15 до 50 %. Таким образом при сжигании водно-мазутных и других эмульсий возникают дополнительные повышенные требования к контролю вязкости [5, 6].

Наряду с вязкостью на процесс распыления влияет и поверхностное натяжение. Однако существенно изменить его значение принятым способом подогрева не представляется возможным, так как поверхностное натяжение для топлива нефтяного происхождения практически не зависит от его температуры.

Так, при увеличении температуры топлива на 30 °С (в интервале 50...100 °С) поверхностное натяже-

ние уменьшится на 4–5 %, в то время как вязкость уменьшится в 3–20 раз.

В последнее время наблюдается тенденция снижения поставок для отопительных и коммунально-бытовых котельных мазута марки 40. Сжигание тяжелых топлив в малых котлах, как правило, не эффективно. Растет перерасход топлива, увеличивается эмиссия загрязнителей окружающей среды. В связи с этим в отопительных котельных стали сжигаться и другие виды топлив; печное бытовое топливо (ТПБ); смесь печного топлива с мазутом; моторные топлива и их смеси; новое синтетическое топливо-водомазутные эмульсии (ВМЭ). Характеристика этих топлив дана в табл. 2.

Для отопительных котельных необходимо применять только топлива с минимальным содержанием серы.

Одно из направлений оптимизации использования топочных мазутов — сжигание их в виде водомазутных эмульсий, являющихся частным случаем водотопливных эмульсий [1, 2, 6].

Установлено, что ВМЭ обладают специфическими теплофизическими и теплоэнергетическими свойствами, позволяющими сжигать их в топках котлов и других энергетических установках (стационарных и транспортных дизельных) с большей эффективностью, увеличить полноту сгорания, снизить не только расход топлива, но и эмиссию загрязняющих веществ в атмосферу, дополнительно утилизировать тепловые отходы, подсланцевые и замазученные воды систем топливоподготовки мазута к сжиганию [2, 6, 7].

Вода, попадающая в мазуты в процессе их транспортировки, хранения, подготовки к сжиганию вместе с замазученными водами и смывами, может использоваться как своеобразный катализатор, улучшающий полноту сгорания топлива. Установлено, что при одинаковых температурных условиях воспламенение ВМЭ происходит раньше, чем обводненного мазута [2, 6].

ВМЭ рассматривается нами как двухфазная, разбавленная, грубодисперсная, гидрофобная и термически нестабильная система, состоящая из различных по структуре капель, конгломератов таких капель, капель «чистого» мазута, отдельных глобул тяжелых углеводородов и их образований (асфальтенов, смолистых веществ, карбоидов) и других частиц, не полностью подвергшихся эмульгированию. Накопленный опыт приготовления ВМЭ и ее сжигания позволяет заключить, что возможно снижение эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу: окиси углерода СО и сажи — в 2 раза, окислов азота NO_x — на 30–50 % [6].

С целью практической проверки результатов теоретических исследований [6] был разработан и запатентован «Эмульсатор ОмГУПС» для приготовления ВМЭ методом барботирования мазута паром или горячей водой в условиях котельной [7]. Новая схема приготовления ВМЭ разработана на кафедре теплоэнергетики Омского государственного университета путей сообщения и внедрена в котельных Омского отделения Западно-Сибирской железной дороги [6, 7].

При испытании котла КЕ-25-14М было установлено [6], что некоторое снижение температуры в топке при сжигании ВМЭ положительно сказывается на

уменьшении выбросов NO_x в атмосферу — на 28 ppm при 75 %-ной нагрузке котла, а уменьшение недожогов снижает концентрацию СО в дымовых газах котла до 20–30 ppm.

Добавим, что в настоящее время Омский завод инновационных технологий (ЗАО «ОмЗИТ») разработал, изготовил и уже поставил потребителям несколько котлов LAVART ARKTIKA, которые предназначены для сжигания низкосортных (тяжелых и легких), в том числе жидких топлив (газовый конденсат, сырая нефть).

Котлы спроектированы для работы в суровых условиях низких температур и низкого качества питательной воды. Завод заключил контракт на поставку восьми таких котлов в Ямало-Ненецкий автономный округ [8].

Библиографический список

1. Воликов, А. Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности / А. Н. Воликов. — Л. : Недра, 1968. — 160 с.
2. Тув, И. А. Сжигание обводненных мазутов в судовых котлах / И. А. Тув. — Л. : Судостроение, 1968. — 196 с.
3. Технологическое сжигание и использование топлива / А. А. Винтовкин [и др.] — М. : Металлургия, 1998. — 286 с.
4. Ведрученко, В. Р. Особенности структуры и эксплуатационные свойства естественных и искусственных водотопливных эмульсий для энергетических установок / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов, М. В. Кокшаров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2001. — № 2. — С. 17–23.
5. Ведрученко, В. Р. Влияние химико-кинетических факторов на экологические показатели котельной установки при сжигании мазута и водомазутной эмульсии / В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов, А. В. Казимиров // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технология. — 2003. — № 1 (22). — С. 27–30.
6. Крайнов, В. В. Улучшение энергоэкологических показателей котельных установок предприятия железнодорожного транспорта сжиганием водомазутных эмульсий : автореф. дис. ... канд. техн. наук // В. В. Крайнов. — Омск : ОмГУПС, 2000. — 22 с.
7. А. с. 11097 РФ, МКИ B601F3/00. Устройство для получения эмульсии / М. В. Кокшаров, В. В. Крайнов, В. Н. Кузнецов, В. В. Овсянников, А. М. Парамонов. — № RU 11097 U1 ; заявл. 09.02.09 ; опубл. 16.09.09, Бюл. № 9. — 2 с.
8. Омский завод инновационных технологий [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://omzit.ru/products> (дата обращения: 16.01.2015).

ВЕДРУЧЕНКО Виктор Родионович, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Теплоэнергетика».

Адрес для переписки: vedruchenkovr@mail.ru

КРАЙНОВ Василий Васильевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Теплоэнергетика».

Адрес для переписки: KrainovVV@omgups.ru

ФЛЕК Екатерина Сергеевна, аспирантка, инженер кафедры «Теплоэнергетика».

Адрес для переписки: Voropaeva90@list.ru

Статья поступила в редакцию 10.03.2015 г.

© В. Р. Ведрученко, В. В. Крайнов, Е. С. Флек

РЕЗЕРВНАЯ ТОКОВАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА С ПАМЯТЬЮ ДЛЯ ЛИНИЙ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ

Рассматривается усовершенствованный вариант резервной защиты линий, способной отключать короткие замыкания (КЗ) за трансформаторами ответвлений при самых малых токах КЗ и не работать излишне благодаря введенным блокировкам.

Ключевые слова: линия с ответвлениями, короткие замыкания, защита, чувствительность, разность токов.

Введение. Задача выявления удаленных коротких замыканий (КЗ) за трансформаторами малой мощности, питающихся от линии воздушных (ВЛ) напряжением 110 кВ большой длины или кабелей 6–10 кВ со значительной нагрузкой, стоит очень давно [1]. Трудности при ее решении обусловлены тем, что при таком КЗ токи $I_{КЗ}$, протекающие по линии (без учета токов нагрузки), могут составлять $(0,1...0,5)I_{РАБ.МАКС}$ (где $I_{РАБ.МАКС}$ — максимальный рабочий ток линии), а напряжение на шинах, от которых питается линия $(0,95...0,85)U_N$. Для случаев, когда $I_{КЗ} = (0,3...0,5)I_{РАБ.МАКС}$ предложены решения [2–4], а для $I_{КЗ} = (0,1...0,2) \times I_{РАБ.МАКС}$ — [5]. Однако последнее, хотя и охватывает весь диапазон возможных токов КЗ, не может быть применено на линиях с двусторонним питанием в силу недостатков, попытка устранить которые сделана в данной работе. Напомним, что измерительный орган (ИО) защиты [5] должен функционировать в соответствии со следующим алгоритмом действия:

Постоянно определяются разности токов всех фаз защищаемой ВЛ, которые запоминаются на время $t_{\Pi} = 0,1$ с (t_{Π} должно быть минимальным, но обеспечивающим все операции при реализации алгоритма). Из трех разностей, полученных в данный момент времени, вычитаются соответствующие предыдущие. Затем из первого результата вычитается третий, из второго первый, из третьего второй. Рис. 1 иллюстрирует вычисления при двухфазных КЗ за трансформаторами с соединением Y/Δ и Y/Y. На рис. 1 $I_{НА}^{PP}$, $I_{НВ}^{PP}$, $I_{НС}^{PP}$ и $I_{НА}^{PP}$, $I_{НВ}^{PP}$, $I_{НС}^{PP}$ вектора токов фаз А, В, С в данный момент времени и в предыдущий (за 0,1 с до данного момента). $\bar{I}_{НАВ} = \bar{I}_{НА} - \bar{I}_{НВ}$, $\bar{I}_{НВС} = \bar{I}_{НВ} - \bar{I}_{НС}$, $\bar{I}_{НСА} = \bar{I}_{НС} - \bar{I}_{НА}$, $\bar{I}_{НАВ}^{PP} = \bar{I}_{НА}^{PP} - \bar{I}_{НВ}^{PP}$, $\bar{I}_{НВС}^{PP} = \bar{I}_{НВ}^{PP} - \bar{I}_{НС}^{PP}$, $\bar{I}_{НСА}^{PP} = \bar{I}_{НС}^{PP} - \bar{I}_{НА}^{PP}$, $\bar{I}_{АВ} = \bar{I}_{НАВ} - \bar{I}_{НАВ}^{PP}$, $\bar{I}_{ВС} = \bar{I}_{НВС} - \bar{I}_{НВС}^{PP}$, $\bar{I}_{СА} = \bar{I}_{НСА} - \bar{I}_{НСА}^{PP}$.

Если хотя бы один из модулей полученных токов $|I_{P1}| = \bar{I}_{АВ} - \bar{I}_{СА}$, $|I_{P2}| = \bar{I}_{ВС} - \bar{I}_{АВ}$, $|I_{P3}| = \bar{I}_{СА} - \bar{I}_{ВС}$ больше или равен току $I_{СЗ}$ срабатывания защиты, то ИО выдает сигнал в ее логическую часть.

Как показал анализ, реализацию защиты следует осуществлять на микропроцессорах, так как опытный образец защиты [5], выполненный на статических реле, оказался весьма громоздким (в основном из-за внушительных размеров линий задержки, требующих большого количества цепочек L, C (линии задержки необходимы для запоминания разностей векторов токов фаз на время $t_{\Pi} = 0,1$ с, а также на t_d (см. далее).

Выбор тока срабатывания предлагаемого усовершенствованного варианта защиты по [5] и ее чувствительность не изменились, благодаря вводу нескольких блокировок, предотвращающих излишнюю работу при появлении значительных токов в ИО в некоторых не рассмотренных ранее режимах.

Токи в ИО и их учет. Анализ поведения в различных режимах защиты, выполненной в соответствии с представленным алгоритмом, показывает необходимость ввода блокировок, предотвращающих излишнее ее срабатывание не только на линиях с двусторонним питанием, но и тупиковых. Рассмотрим токи в ИО при этих режимах. Сразу после включения защищаемой ВЛ возникает несимметрия токов, вызванная неодновременным включением выключателей ее фаз. Излишнее срабатывание ИО предотвращается реле РПВ положения выключателей, которое задерживает запуск защиты на время $t_1 = 0,15$ с после их включения.

При двухфазном КЗ за трансформатором ответвления ВЛ любой из токов $|I_{P1}|$, $|I_{P2}|$, $|I_{P3}|$ больше $I_{СР}$ только в течении 0,1 с (то есть до тех пор, пока токи повреждения на текущий момент и токи предшествующего режима отличаются). Затем этот ток обра-

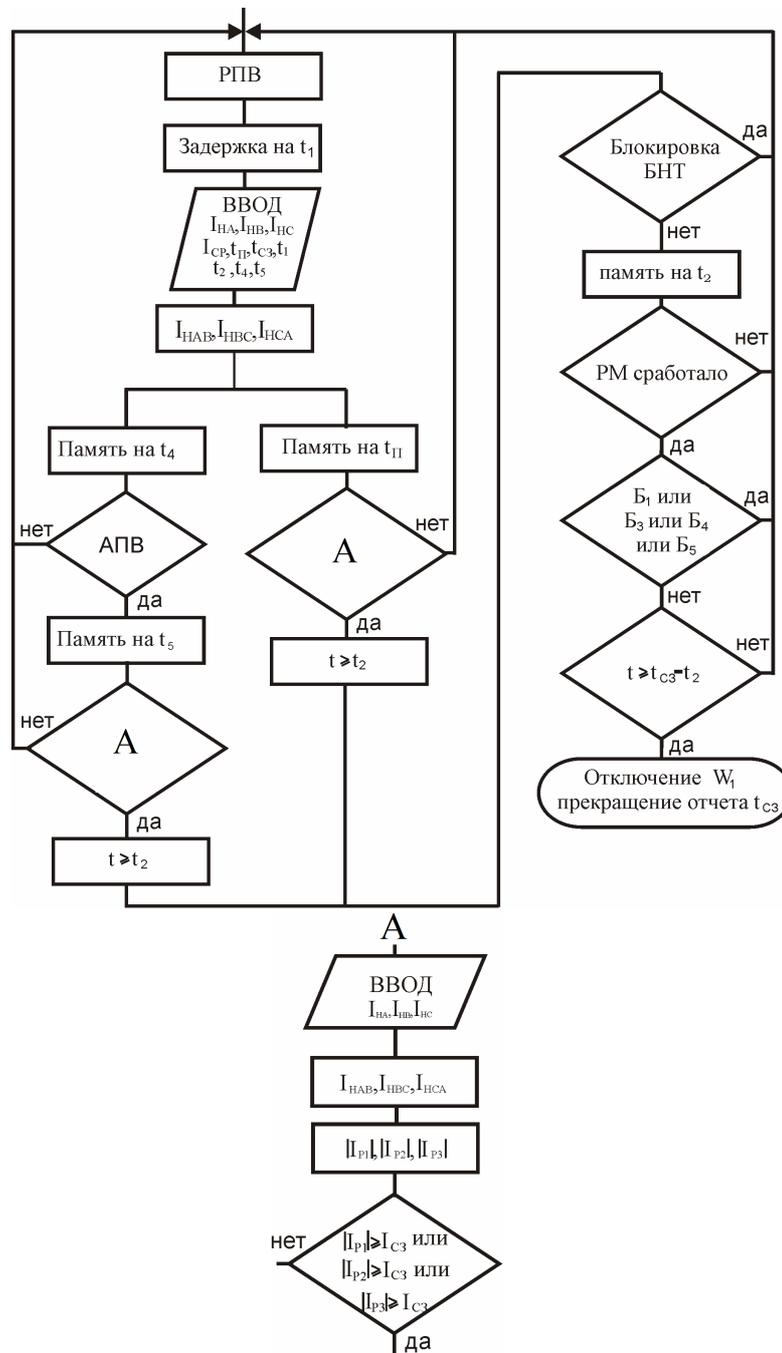


Рис. 2. Структурная схема алгоритма функционирования защиты

«память на t_5 »). Если КЗ за трансформатором неустойчивое, то после действия АПВ через t_4 , составляющее несколько секунд, и вдобавок после КЗ, ток I_{p1} или I_{p2} , I_{p3} , вычисляемый по ветви с АПВ (рис. 2), так же как и по ветви «память на $t_{п}$ », может превысить уставку. Но РМ блокирует защиту (оно отстроено от несимметрии в рабочих режимах). РМ запрещает действие и при успешном трехфазном и однофазном АПВ (ОАПВ) линии, когда после АПВ несимметричное КЗ на ней устранилось. Ветви алгоритма (рис. 2) от «память на $t_{п}$ » и «память на t_5 » разделены, так как их объединение могло бы привести после АПВ к наложению токов, которые запомнились до АПВ и после АПВ и за $t_{п}$ до окончания отчета времени t_5 .

При неуспешном ОАПВ рассматриваемой линии при КЗ на ней, когда основная защита отключает

поврежденную фазу во второй раз, она (как и в первый раз) возвращается в исходное положение по факту отключения выключателя этой фазы. Линия переходит на работу двумя фазами, а предлагаемая защита выводится из работы с помощью РПВ до тех пор, пока не будет включен отключенный выключатель. Если линия транзитная, то после неуспешного ОАПВ и работы двумя фазами при включении третьей оперативным персоналом возможно запаздывание включения выключателей с ее противоположной стороны более чем на $t_{сз}$, и защита срабатывает (РМ разрешает). То же самое может произойти и при неуспешных ОАПВ линий, отходящих от шин противоположной ВЛ подстанции, и смежных с ними, так как РМ предотвращает отключение ВЛ только при их трехфазном АПВ или успешном ОАПВ. Чтобы предотвратить эти ложные срабатывания необ-

ходимо блокировать действие защиты по сигналам B_1, B_2, B_3 и B_4 , сформированным из сигналов P_A, P_B, P_C от реле $РПВ_A, РПВ_B, РПВ_C$ выключателей фаз А, В, С соответствующих линий по формуле, записанной в символах алгебры логики, например для защищаемой линии сигнал

$$B_1 = \overline{P_A} P_B P_C + \overline{P_B} P_A P_C + \overline{P_C} P_A P_B,$$

где сигналы P_A, P_B, P_C принимают значение логической 1 (0), если фазы А, В, С включены (отключены); сигнал B_1 принимает значение 1, если один из выключателей противоположной стороны ВЛ отключен, и значение 0, если все выключатели там включены или отключены. Защита срабатывает, если нет запрещающих сигналов B_1 , или B_2 , или B_3 , или B_4 от РПВ выключателей линий отходящих от шин с противоположной стороны ВЛ. B_1 препятствует ложному отключению ВЛ и при включении ее в транзит, когда возникает несимметрия из-за одновременного включения выключателей с противоположной стороны. После исчезновения несимметрии это делает РМ. Заметим, что сигналы B_2, B_3, B_4 должны быть получены с обоих концов соответствующих линий, как и сигналы с параллельной транзитной линии.

Выводы. Рассмотренные блокировки обеспечивают правильную работу резервной защиты линии с измерительным органом, способным выявлять любые двухфазные КЗ за трансформаторами ее ответвлений. Однако применение ее на линиях с двухсторонним питанием напряжением 220 кВ и выше затрудняется из-за необходимости передачи сигналов от линий, отходящих от шин противоположной подстанции при их ОАПВ. Реализацию защиты следует осуществлять на микропроцессорах.

Книжная полка

Андреева, Е. Г. Машины постоянного тока : учеб. пособие / Е. Г. Андреева, Н. С. Морозова. – Омск : ОмГТУ, 2015. – 78 с. – ISBN 978-5-8149-1939-7.

Рассмотрены вопросы, связанные с назначением, конструкцией, принципами работы, основными характеристиками и эксплуатационными свойствами машин постоянного тока как общего, так и специального назначения. Материал пособия относится к одному из разделов дисциплины «Электрические машины». Для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 140400 «Электроэнергетика и электротехника», а также может быть полезно специалистам энергетических специальностей.

Андреева, Е. Г. Синхронные машины : учеб. пособие / Е. Г. Андреева, Н. С. Морозова. – Омск : ОмГТУ, 2015. – 58 с. – ISBN 978-5-8149-1936-6.

Рассмотрены вопросы, связанные с назначением, конструкцией, принципами работы и основными характеристиками синхронных машин как общего, так и специального назначения. Материал пособия относится к одному из разделов дисциплины «Электрические машины». Для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 140400 «Электроэнергетика и электротехника», а также может быть полезно специалистам энергетических специальностей.

Белоглазов, В. П. Автоматизация теплоэнергетических установок : конспект лекций / В. П. Белоглазов. – Омск : ОмГТУ, 2014. – 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

В конспекте лекций кратко рассмотрены вопросы, связанные с автоматическим регулированием объектов теплоэнергетики. Предназначен для студентов дневной, дистанционной и заочной форм обучения по специальностям 140101 «Тепловые электрические станции», 140104 «Промышленная теплоэнергетика», а также для магистрантов направления 140100.65 «Теплоэнергетика».

Библиографический список

1. Рубинчик, В. А. Резервирование отключения коротких замыканий в электрических сетях / В. А. Рубинчик. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.
2. Богдан, А. В. Адаптивная резервная токовая защита тупиковых линий с ответвлениями / А. В. Богдан, М. Я. Клецель, К. И. Никитин // Электричество. – 1991. – № 2. – С. 61–64.
3. Клецель, М. Я. Резервная защита линий, реагирующая на разность модулей токов фаз и их приращения / М. Я. Клецель, К. И. Никитин // Электричество. – 1993. – № 10. – С. 23–26.
4. Нагай, В. И. Релейная защита дальнего резервирования трансформаторов на ответвлениях ВЛ / В. И. Нагай // Энергетик. – 2001. № 3. С. 28–29.
5. Никитин, К. И. Защита линий, выявляющая короткие замыкания за маломощными трансформаторами ее ответвлений / К. И. Никитин, Н. М. Зайцева, М. Я. Клецель, О. А. Сидоров // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2012. – № 2 (110). С. 209–211.

НИКИТИН Константин Иванович, доктор технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники Омского государственного технического университета.

КЛЕЦЕЛЬ Марк Яковлевич, доктор технических наук, профессор (Казахстан, Россия), профессор кафедры электроэнергетических систем Научного исследовательского Томского политехнического университета.

ТАРОНОВ Константин Сергеевич, аспирант кафедры электроэнергетики Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова.
Адрес для переписки: nki@ngs.ru

Статья поступила в редакцию 03.02.2015 г.

© К. И. Никитин, М. Я. Клецель, К. С. Таронов