

Вариант технологии	Материалы композиций (фракционный состав, мм, номер ячейки сетки)		П	$d_{п\max}$ , мкм	$d_{п\text{ ср.}}$ , мкм	$k$ , мкм <sup>2</sup>
1	МКО (-0,4...+0,315)		0,45	156,5	106	29,7
	внутренний слой	наружный слой				
2	Сетка (0200)	МКО (-0,315...+0,2)	0,60	86	35	23,8
2	Сетка (0200)	МКО (-0,4...+0,315)	0,50	112	62	28,3
2	Сетка (0200)	МКО (-0,63...+0,4)	0,49	103	67	31,09
3	МКО (-0,315...+0,2)	Сетка (0200)	0,40	93	70,4	17,6

**Заключение.** Разработаны три варианта усовершенствованной технологии СИП, позволяющей изготавливать длинномерные многослойные ФЭ с развитой поверхностью. По трем вариантам изготовлены ФЭ, исследованы их структурные и гидродинамические свойства.

#### Список использованных источников

- Капцевич, В.М. Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2008. – 232 с.
- Витязь, П.А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, Р.А. Кусин. – Минск: НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.
- Реут, О.П. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов / О.П. Реут, Л.М. Богинский, Е.Е. Петюшик. – Минск: Дэбор, 1998. – 258 с.
- Капцевич, В.М. Проницаемые материалы из медных кабельных отходов. Сообщение 7. Исследование закономерностей укладки медных кабельных отходов в длинномерных кольцевых зазорах и разработка процесса их войлокования / В.М. Капцевич, В.К. Корнеева // Порошковая металлургия : респ. межвед. сб. науч. трудов. – Минск, 2017. – Вып. 40. – С. 130–136.

УДК 631.3-6

## ЗАВИСИМОСТЬ ВЯЗКОСТИ И ПЛОТНОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Студент – Рыхлик А.Н., 34 тс, 3 курс, ФТС;  
Данцевич И.Д., 36 тс, 2 курс, ФТС*

*Научные  
руководители – Закревский И.В., ст. преподаватель;  
Корнеева В.К., к.т.н.*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Получены эмпирические зависимости вязкости и плотности от температуры моторного масла М10Г2. Полученные зависимости могут быть использованы при проведении теоретических расчетов, связанных с триботех-

ническими расчетами, а также при расчетах процессов регенерации смазочных материалов.

**Ключевые слова:** моторное масло, кинематическая и динамическая вязкость, плотность, температура, эмпирические зависимости.

*Ведение.* Во время эксплуатации смазочные материалы должны выполнять следующие основные функции [1, 2]: снижать потери на трение; уменьшать износ деталей; постоянно и эффективно отводить тепло из зоны трущихся сопряжений и нагреваемых деталей; защищать детали от коррозии; удалять с трущихся поверхностей деталей продукты износа и другие загрязнения; препятствовать прорыву рабочей смеси и продуктов сгорания в картеры двигателей.

К одним из основных эксплуатационных свойств смазочных материалов относятся смазывающие свойства. Под термином смазывающие свойства объединено несколько свойств смазочных материалов, влияющих на процессы трения и изнашивание трущихся поверхностей деталей [3]. Основными из них являются антифрикционные, влияющие на потери энергии при трении поверхностей, противоизносные, уменьшающие износ трущихся поверхностей деталей при умеренных нагрузках; противозадирные, предохраняющие трущиеся поверхности от задира в условиях высоких нагрузок.

Главным показателем смазывающих свойств смазочных материалов является *вязкость*, которая обеспечивает жидкостное трение, эффективное охлаждение, уплотнение узлов трения и т.д. Количественно этот показатель характеризуется *коэффициентом динамической вязкости*  $\mu$  (коэффициент внутреннего трения) и *коэффициентом кинематической вязкости*  $\nu$  [3]. Единицей измерения динамической вязкости  $\mu$  является Па·с, а кинематической  $\nu$  – м<sup>2</sup>/с. В системе СГС  $\mu$  измеряют в пуазах П ( $\text{П} = \text{Па}\cdot\text{с}$ ), а  $\nu$  – в стоксах или сантистоксах ( $\text{сСт} = \text{мм}^2/\text{с}$ ). Для моторных, гидравлических и трансмиссионных масел кинематическая вязкость нормируется при 100°C, для промышленных – при 50°C.

Вязкость существенно меняется с изменением температуры. С понижением температуры взаимодействие между молекулами усиливается, и вязкость масла увеличивается. Так, при изменении температуры на 100°C вязкость масла может изменяться в 250 раз [4].

*Целью* работы является установление зависимости изменения вязкости моторного масла от его температуры.

Математических уравнений, пригодных для практического применения, выражающих закон изменения вязкости от температуры, до настоящего времени не имеется, поэтому пользуются эмпирическими зависимостями.

В качестве примера построим зависимость изменения вязкости от температуры и выведем эмпирическую зависимость для моторного масла М10Г<sub>2</sub>.

Для построения зависимости кинематической вязкости  $\nu$  воспользуемся данными [5, 6] (рисунок 1).

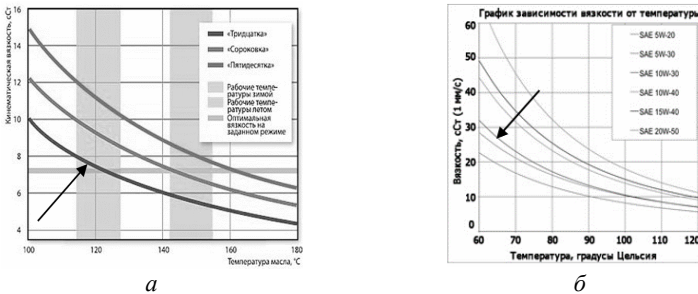


Рисунок 1 – Зависимости кинематической вязкости от температуры моторных масел по классификации SAE J 300 JUN 87: *а* – летних сортов [5]; *б* – всесезонных сортов [6]

Согласно ГОСТ 17479.1-85 класс вязкости для летнего сорта моторного масла М10Г<sub>2</sub> – класс 10, соответствует классу масла классификации SAE J 300 JUN 87 – класс 30 (рисунок 1 – «тридцатка»), а для всесезонных масел – класс 4/10 соответствует классу 10W-30 (рисунок 2).

Сопоставляя данные (рисунок 1, 2) находим значения кинематической вязкости  $\nu$  моторного масла М10Г<sub>2</sub> в диапазоне температур  $t$  от 60 до 180 °С (таблица 1).

Таблица 1 – Кинематическая вязкость моторного масла М10Г<sub>2</sub> при различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$\nu, \text{мм}^2/\text{с}$	31,0	23,0	18,0	14,0	11,0	9,0	7,5	6,8	6,0	5,5	5,0	4,6	4,0

На рисунке 3 по данным таблицы 1 построена зависимость кинематической вязкости  $\nu$  моторного масла М10Г<sub>2</sub> от температуры  $t$  и с достаточно высокой величиной достоверности аппроксимации ( $R^2 = 0,9944$ ) она может быть представлена в виде степенного эмпирического выражения:

$$\nu = 59514 t^{-1,857} \quad (1)$$

Динамическая вязкость масла  $\mu$  связана с кинематической вязкостью  $\nu$  выражением

$$\mu = \nu \rho, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность масла,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Известно, что с повышением температуры  $t$  плотность масла  $\rho$  снижается и она может быть определена по формуле Д.И. Менделеева [7]:

$$\rho = \frac{\rho_{20}}{(1 + \beta(t - 20))}, \quad (3)$$

где  $\rho_{20}$  – плотность масла при  $t = 20$  °С, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения, °С<sup>-1</sup>.

Используя выражение (3), учитывая, что для моторного масла М10Г<sub>2</sub>  $\rho_{20} = 905$  кг/м<sup>3</sup> и  $\beta = 6,33 \cdot 10^{-4}$  °С<sup>-1</sup> [8], построена зависимость плотности  $\rho$  моторного масла М10Г<sub>2</sub> от температуры  $t$  (рисунок 4) и с достаточно высокой величиной достоверности аппроксимации ( $R^2 = 0,9996$ ) она может быть представлена в виде линейного эмпирического выражения:

$$\rho = -0,507t + 912,4 \quad (4)$$

Подставляя в выражение (2) значения  $\nu$  и  $\rho$ , рассчитанные по выражениям (1) и (4) определены величины динамической вязкости  $\mu$  для моторного масла М10Г<sub>2</sub> при различных температурах  $t$  (таблица 2).

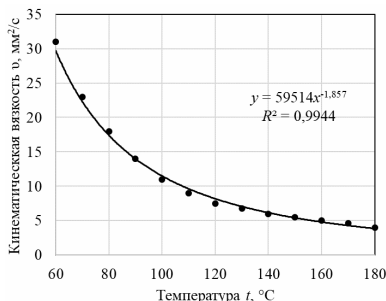


Рисунок 3 – Зависимость кинематической вязкости  $\nu$  от температуры  $t$  моторного масла М10Г<sub>2</sub>

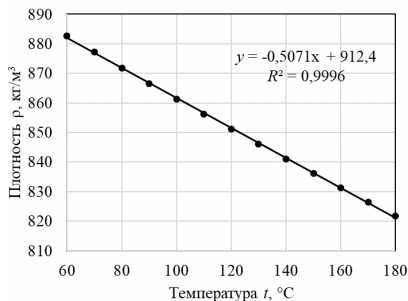


Рисунок 4 – Зависимость плотности  $\rho$  от температуры  $t$  моторного масла М10Г<sub>2</sub>

Таблица 2 – Динамическая вязкость моторного масла М10Г<sub>2</sub> при различных температурах

$t$ , °С	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$\mu \cdot 10^3$ , Па·с	27,4	20,2	15,7	12,1	9,5	7,7	6,4	5,8	5,0	4,6	4,2	3,8	3,3

На рисунке 5 по данным таблицы 2 построена зависимость динамической вязкости  $\mu$  моторного масла М10Г<sub>2</sub> от температуры  $t$  и с достаточно высокой величиной достоверности аппроксимации ( $R^2 = 0,9953$ ) она может быть представлена в виде степенного эмпирического выражения:

$$\mu = 69,121 t^{-1,923}$$

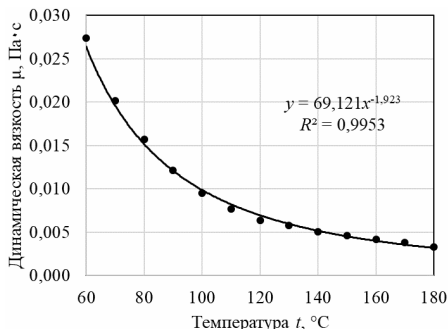


Рисунок 5 – Зависимость динамической вязкости  $\mu$  от температуры  $t$  моторного масла М10Г<sub>2</sub>

*Заключение.* На основании известных экспериментальных данных получены эмпирические зависимости кинематической и динамической вязкости и плотности от температуры моторного масла М10Г<sub>2</sub>, которые могут быть использованы при проведении теоретических расчетов, связанных с триботехническими расчетами, а также при расчетах процессов очистки смазочных материалов методами фильтрования, центрифугирования и т.д.

#### Список использованных источников

1. Бутов, Н.П. Научные основы проектирования малоотходной технологии переработки и использования отработанных минеральных масел / Н.П. Бутов. – ВНИПТИМЭСХ, 2000. – 410 с.
2. Григорьев, М.А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев. – Москва: Машиностроение, 1983. – 148 с.
3. Капцевич, В.М. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства: монография / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2007. – 232 с.
4. Синельников, А.Ф. Автомобильные масла. Краткий справочник / А.Ф. Синельников, В.И. Балабанов. – Москва: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. – 176 с.
5. О вязкости моторного масла или практика-критерий истины // Drive2.ru. Сообщество машин и людей [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/l/457323170949515786/>. – Дата доступа : 14.04.2019.
6. Что такое полусинтетическое масло // Etlib.ru. Ремонт авто своими руками [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://etlib.ru/blog/529-что-такое-polusinteticheskoe-maslo>. – Дата доступа : 14.04.2019.
7. Гусейнов, Д.А. Технологические расчеты процессов переработки нефти / Д.А. Гусейнов, Ш.Ш. Спектор, Л.З. Вайннер. – Москва: Издательство «Химия», 1964. – 308 с.
8. Рыбак, Б.М. Анализ нефти и нефтепродуктов / Б.М. Рыбак. – Москва: Гостоптехиздат, 1962. – 889 с.