

Ю. М. ИСАЕВ, В. П. КОРЕНЕВ

# ГИДРАВЛИКА И ГИДРОПНЕВМОПРИВОД

**УЧЕБНИК**

*Допущено*

*Экспертным советом по профессиональному образованию  
в качестве учебника для использования в учебном процессе  
образовательных учреждений, реализующих программы  
среднего профессионального образования*

3-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2013

УДК 621.22(075.32)

ББК 30.123я723

И851

Рецензенты:

преподаватель высшей категории ФГОУ СПО «Волховский колледж транспортного строительства» *В. М. Шустович*;

преподаватель второй категории ФГОУ СПО «Волховский колледж транспортного строительства» *Е. В. Коновалова*;

начальник отдела ПТКБ ЦП ОАО «РЖД» *М. Г. Амигут*;

преподаватель негосударственной организации «Гуманитарный экологический институт», д-р техн. наук, проф. *А. Н. Голицын*

**Исаев Ю. М.**

И851 Гидравлика и гидропневмопривод : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Ю. М. Исаев, В. П. Корнев. — 3-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 176 с.

ISBN 978-5-7695-9972-9

В краткой форме приведены основные положения гидравлики. Даны краткие сведения об устройстве объемных гидромашин и гидроаппаратуры, применяемых в гидроприводах, и о рабочих процессах объемных гидрориводов строительно-дорожной техники. Представлены основные сведения о газовых законах и их применении в расчетах рабочих процессов пневмоприводов основных видов. Описаны конструкции объемных пневматических машин.

Учебник может быть использован при освоении профессиональных модулей ПМ.01 «Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин и оборудования при строительстве, содержании и ремонте дорог», ПМ.02 «Техническое обслуживание и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин и оборудования в стационарных мастерских и на месте выполнения работ» по специальности 190629 «Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин и оборудования».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.22(075.32)

ББК 30.123я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Исаев Ю. М., Корнев В. П., 2009

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-7695-9972-9

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В строительно-дорожной, землеройной и подъемно-транспортной технике широко применяются гидравлические и пневматические приводы (гидро- и пневмоприводы) и устройства, основной особенностью которых является использование жидкостей и газов в качестве рабочих сред. Эффективная эксплуатация и обслуживание такой техники нуждается в специалистах, обладающих высокой квалификацией.

В данном учебнике изложены основы гидравлики и газовой динамики; описана работа гидравлических и пневматических устройств, применяемых в строительно-дорожной и строительной технике.

Учебно-методические особенности курса предопределили деление учебника на три составные части: раздел I «Гидравлика» — изложение основных законов движения рабочих сред; раздел II «Объемный гидропривод» — рассмотрение устройства гидравлических систем (гидросистем), гидравлических машин (гидромашин) и гидравлической аппаратуры (гидроаппаратуры); раздел III «Пневмопривод» — описание пневматических систем и устройств.

Весь материал изложен в 17 главах.

В главе 1 «Основные физические свойства жидкостей» дано общее определение жидкостей как физических тел и описаны некоторые физические свойства жидкостей.

В главе 2 «Гидростатика» изложены основные законы жидкости, находящейся в состоянии покоя, даны понятия гидростатического давления и сообщающихся сосудов.

В главе 3 «Основы технической гидродинамики» приведены основные понятия гидродинамики и разъяснен смысл уравнения Бернулли для идеальной и реальной жидкостей — основного уравнения движущихся текучих сред.

В главе 4 «Движение жидкости в напорных трубопроводах» даны понятия подобия гидравлических потоков и гидравлических потерь давления при ламинарном и турбулентном режимах течения.

В главе 5 «Гидравлические измерительные приборы» описаны устройство и принцип действия простейших приборов для измерения расхода, скорости и давления в потоке жидкости, применяемых главным образом в строительно-дорожной технике.

В главе 6 «Общие сведения об объемном гидроприводе» приведены понятия и определения элементов объемного гидропривода и правила их условного изображения на гидравлических схемах.

В главе 7 «Общие сведения об объемных гидромашинах» описаны принцип действия объемных гидромашин, их назначение и основные параметры.

В главе 8 «Шестеренные и винтовые гидромашины» даны основные понятия о принципе действия и устройстве объемных гидромашин зубчатого типа.

Глава 9 «Радиально-поршневые гидромашины» посвящена изложению основ кинематических особенностей радиально-поршневых насосов и гидромоторов однократного действия и многоходовых радиально-поршневых гидромоторов.

В главе 10 «Аксиально-поршневые гидромашины» даны основные понятия о принципе действия и устройстве объемных гидромашин с наклонным диском и наклонным блоком цилиндров.

В главе 11 «Гидроцилиндры» рассмотрены конструкции и особенности применения гидроцилиндров.

Глава 12 «Гидравлическая аппаратура» посвящена основным видам гидравлических аппаратов, применяемых в гидроприводах.

В главе 13 «Фильтрация рабочих жидкостей» изложены причины загрязнения рабочих жидкостей, дано понятие о технических классах чистоты, описаны способы и устройства для очистки жидкости, рассмотрены монтаж фильтров в гидросистеме и правила их эксплуатации.

В главе 14 «Оборудование систем гидроприводов» приведены виды дополнительного оборудования гидросистем, его назначение и особенности применения.

Глава 15 «Системы объемных гидроприводов» знакомит студентов с основными видами, принципом действия и характеристиками гидроприводов, применяемых в строительной-дорожной технике.

В главе 16 «Общие сведения о пневмоприводе» изложены принципы работы пневматических машин и пневматической аппаратуры, дана их классификация по принципу устройства и назначению, приведены примеры пневмоприводов, применяемых в строительной-дорожных машинах.

В главе 17 «Рабочие процессы в пневмосистемах» рассмотрены свойства газовых сред, основные газовые законы и особенности рабочих процессов в пневмодвигателях.

Разделы I и II учебника написаны Ю. М. Исаевым, раздел III — Ю. М. Исаевым и В. П. Корневым совместно.

## ВВЕДЕНИЕ

Рабочие механизмы строительно-дорожных машин приводятся в действие, как правило, автономными двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В целом эти двигатели называются *первичными*. Для того чтобы такие механизмы могли выполнять рабочие функции, необходимы специальные технические устройства, преобразующие энергию и движение первичных двигателей в соответствующие рабочим механизмам формы движения с особыми характеристиками. Такие технические устройства называются *приводами*. Приводы классифицируют по физическому принципу действия. В технике применяются *механические, электрические, гидравлические и пневматические приводы*.

В строительно-дорожной, землеройной и подъемно-транспортной технике широкое распространение получили *гидроприводы*, которые приводят в действие жидкость под давлением. Например, широко применяются гидравлические экскаваторы, бульдозеры, виброкатки, асфальтоукладчики и другая техника.

Наряду с этими машинами применяются также рабочие устройства, инструмент и специальные механизмы, имеющие *пневмопривод*. К ним, в частности, относятся пневматические вибрационные молоты для забивания свай, уплотнители грунтов, отбойные молотки, тормозные системы самодвижущихся машин. В пневмоприводе рабочий процесс осуществляется с помощью воздуха, находящегося под давлением.

Обладая высокими производственными показателями, гидравлическая и пневматическая техника отличается достаточно сложным устройством.

Рабочие процессы гидроприводов основаны на законах движения жидкости, которые изучает наука, называемая *гидравликой*. Гидравлика является общеинженерной наукой, достижения которой широко применяются во многих областях современной техники.

Хотя газовые среды существенно отличаются по своим свойствам от жидкостей, в определенных условиях они также подчиняются законам гидравлики. Поэтому некоторые из ее законов применяются и для описания процессов, происходящих в системах пневмопривода.

Гидро- и пневмоприводы в структурном отношении представляют собой системы, в состав которых входят различные машины, аппаратура и оборудование. Все они имеют характерные рабочие процессы и устройство, которые определяют их назначение в приводах и машинах. Поэтому изучение основ гидравлики и конструкций гидравлических машин и аппаратуры предшествует изучению гидро- и пневмоприводов.

## ГИДРАВЛИКА

## Глава 1

## ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

## 1.1. Рабочие среды

В гидро- и пневмоприводах передача движений, усилий или мощности осуществляется соответственно посредством жидкости и воздуха под давлением. В общем смысле эти два вида физических тел называются *рабочими средами*. В строительно-дорожных машинах жидкости могут использоваться и для других целей: в качестве топлива или смазки для ДВС, для охлаждения, защиты от коррозии.

Специфические виды жидкостей, применяемые в системах гидропривода, принято называть *рабочими жидкостями*. Таким образом, рабочими средами в гидроприводах являются рабочие жидкости, а рабочей средой в пневмоприводах — воздух под давлением (так как другие виды газообразных рабочих сред в приводах строительно-дорожных машин не применяются).

Рабочие жидкости характеризуются физическими свойствами, общими для всех жидкостей; кроме того, они обладают некоторыми специфическими свойствами. Для описания этих свойств применяется целый ряд специальных понятий и определений, знание которых необходимо как для изучения механики жидкости, так и для решения технических задач на практике.

К жидкостям относятся физические тела, обладающие свойством *текучести*. Текучесть жидкостей проявляется в том, что они свободно растекаются по ровной твердой поверхности, но принимают форму того сосуда, в который помещены. При этом они сохраняют свободную поверхность, которая существует, например, между уровнем жидкости в сосуде и внешним атмосферным воздухом. В частности, благодаря этому капля сохраняет свой объем, не распыляясь при падении. Жидкости, обладающие свойством текучести, называются *капельными жидкостями*.

В отличие от жидкостей газы, в том числе и воздух, обладают значительно большей подвижностью своих молекул и поэтому им свойственна *летучесть*, под которой понимается неспособность

сохранять даже капельную форму. В целом, физические свойства газов принципиально отличаются от свойств жидкостей.

## 1.2. Плотность жидкости и ее зависимость от температуры

Масса жидкости, заключенной в ограниченном объеме, характеризуется *плотностью*. Для однородной жидкости плотность  $\rho$  постоянна во всех точках этого объема, поэтому ее можно определить через отношение массы жидкости  $m$  к объему  $V$ , в котором эта масса заключена:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1.1)$$

Для однородной жидкости более строгое определение плотности представляет собой предельное отношение:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V},$$

смысл которого заключается в том, что даже в бесконечно малом объеме жидкости содержится ее некоторое количество, имеющее плотность. Единицей измерения плотности согласно Международной системе физических единиц (СИ) является килограмм на кубический метр ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

Плотность жидкости зависит от температуры и давления. При нагревании первоначальный объем жидкости увеличивается, а ее плотность при этом уменьшается. Экспериментально установлено, что для относительно небольших интервалов изменения температуры тепловое расширение жидкости подчиняется линейному закону.

Если взять некоторый начальный объем жидкости  $V_0$  при начальной температуре  $T_0$ , то при повышении температуры до  $T_k$  объем той же жидкости увеличится до  $V_T$  и будет справедливо следующее соотношение:

$$\frac{V_T - V_0}{T_k - T_0} = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \beta_{\text{ж}} V_0. \quad (1.2)$$

Отсюда увеличение объема при нагревании:

$$\Delta V = \beta_{\text{ж}} V_0 \Delta T. \quad (1.3)$$

Множитель  $\beta_{\text{ж}}$  называется *коэффициентом объемного температурного расширения жидкости*, он измеряется в градусах Цельсия в минус первой степени ( $1/^\circ\text{C}$ ). В интервалах температур, обычно име-

ющих место при эксплуатации гидроприводов, можно считать, что  $\beta = \text{const}$ .

Тепловое расширение жидкостей довольно малó. Например, для воды  $\beta = 0,00018 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Если 100 л воды нагреть на  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ , то первоначальный объем увеличится на 1,8 л. Это свойство жидкостей должно учитываться при выборе емкостей для хранения, если предполагается, что температура жидкостей будет изменяться в существенных пределах.

Уменьшение плотности жидкости при нагревании легко можно получить из формул (1.1)—(1.3):

$$\rho_T = \frac{\rho_0}{1 + \beta_{\text{ж}} \Delta T},$$

где  $\rho_0$  и  $\rho_T$  — плотность жидкости при начальной  $T_0$  и конечной  $T_k$  температурах соответственно,  $\Delta T = T_k - T_0$ .

Жидкость, ограниченная стенками сосуда, способна передавать действующие на нее силы. Эти силы подразделяют на два вида:

- *поверхностные силы*, действующие извне на поверхность жидкости (через жесткую стенку, границу раздела жидкость — газ и т. п.) и пропорциональные площади данной поверхности;

- *массовые (объемные) силы*, приложенные к массе жидкости и пропорциональные ее массе (объему), поэтому их часто называют также *объемными силами*. К ним относятся сила тяжести и сила инерции.

Когда некоторая сила  $F$  действует на поверхность  $\Delta A$  неподвижной площадки, то ответную реакцию на такое действие можно представить как произведение напряжения  $\sigma$ , возникающего в жидкости под действием силы  $F$ , на площадь поверхности  $\Delta A$ . Равнодействующая этих напряжений по всей поверхности направлена в сторону, противоположную действию силы  $F$ , т. е. напряжение  $\sigma$ , как и сила  $F$ , есть вектор.

Модуль (т. е. абсолютное значение) этого напряжения, возникающего в жидкости, называется *давлением*:

$$p = |\sigma| = \left| \frac{F}{\Delta A} \right|. \quad (1.4)$$

Таким образом, можно сказать, что жидкость передает действующие на нее силы через давление, которое является скалярной величиной. Отрицательных давлений в жидкости, находящейся в естественных условиях, не существует. Вследствие того что частицы жидкости обладают высокой подвижностью (внутреннее трение в покоящейся жидкости равно нулю), давление, возникающее от действия сил, передается во все стороны равномерно. Данное свойство, являющееся *основным законом гидродинамики*, было впервые описано в 1663 г. французским ученым Б. Паскалем. Этот



закон лежит в основе принципа действия всех машин и приводов так называемого объемного типа. Давление, определяемое по формуле (1.4), называется *гидростатическим*.

Единицей измерения давления, согласно СИ, является паскаль (Па). При измерении больших давлений применяется более крупная единица: мегапаскаль (МПа):

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2, 1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}.$$

Нормальное атмосферное давление на уровне моря составляет 0,1013 МПа, а давления в системах гидроприводов машин обычно достигают 10... 50 МПа.

Находят применение также внесистемные единицы измерения давления:

- физическая атмосфера (атм) — 1 атм = 0,101 МПа;
- техническая атмосфера (ат) — 1 ат = 1 кгс/см<sup>2</sup> = 0,09807 МПа, в технических целях иногда принимают приблизительно 1 ат ≈ 0,1 МПа;
- метр водяного столба — 1 м вод. ст. = 9 807 Па. Эти единицы часто используются для измерения напора водяных насосов.

### 1.3. Сжимаемость жидкостей

Если жидкость находится в замкнутом сосуде, то увеличение давления в нем вызовет уменьшение объема и увеличение плотности жидкости. При давлениях до 30 МПа уменьшение объема жидкости описывается соотношением

$$\frac{V_0 - V_k}{p_0 - p_k} = -k_{\text{ж}} V_0, \quad (1.5)$$

где  $V_0$  — объем жидкости при давлении  $p_0$ ,  $V_k$  — объем жидкости при давлении  $p_k$ ;  $p_0$  — начальное давление;  $p_k$  — конечное давление.

Коэффициент  $k_{\text{ж}}$  называется *коэффициентом объемного сжатия* или *сжимаемостью жидкости*.

Из формулы (1.5) следует, что изменение начального объема жидкости  $V_0$  при сжатии

$$\Delta V = -k_{\text{ж}} \Delta p V_0. \quad (1.6)$$

Часто применяется обратный коэффициент  $E_{\text{ж}} = 1/k_{\text{ж}}$ , который называется *модулем объемной упругости* жидкости. Из формулы (1.6) следует, что его единицы измерения совпадают с единицами измерения давления. Знак « $\rightarrow$ » в этой формуле показывает, что при сжатии объем жидкости уменьшается.

Сжимаемость жидкостей очень мала и соответственно велика упругость. Так, для воды при 20 °С коэффициент объемного сжатия  $k_{\text{ж}} = 4,76 \cdot 10^{-10}$  1/Па, ему соответствует модуль объемной упругости

**Физические характеристики некоторых жидкостей**

Жидкость	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент объемного температурного расширения $\beta_{ж}$ , 1/°C	Коэффициент объемного сжатия $k$ , м <sup>2</sup> /Н	Модуль объемной упругости $E_{ж}$ , МПа
Вода (при 20 °C)	998,2	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	2 100
Глицерин	1 260	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	4 300
Керосин	800	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	1 350
Масла: «Индустриальное И-20А»	880... 900	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	1 400
АМГ-10	850	$(7,6 \dots 11) \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	1 680
МГ-15-В	865	$(7 \dots 9) \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	1 740

$E_{ж} \approx 2\,100$  МПа (заметим, что модуль упругости стали примерно в 10 раз выше).

Физические характеристики некоторых жидкостей в интервале температур от 20 до 70 °C при нормальном давлении приведены в табл. 1.1.

**1.4. Вязкость**

*Вязкостью* называется свойство жидкости сопротивляться относительному смещению ее частиц при движении.

Давно было замечено, что скорость потока жидкости при ее течении, например в канале или внутри трубопровода, изменяется поперек потока: вблизи дна или стенки скорость меньше, а ближе к свободной поверхности или на центральной оси трубы она больше. В 1686 г. И. Ньютон предложил гипотезу для определения силы взаимодействия между такими слоями жидкости:

$$F_{ж} = \pm A_{ж} \mu_{ж} \frac{\Delta U}{\Delta n}, \quad (1.7)$$

где  $F_{ж}$  — сила вязкого трения, вызывающая в жидкости касательные напряжения;  $A_{ж}$  — площадь поверхности внутри жидкости, на которую действует сила  $F_{ж}$ ;  $\Delta U/\Delta n$  — степень изменения скорости  $U$  по нормали  $n$  к стенке трубы.

Отношение  $\Delta U/\Delta n$  называется *градиентом скорости*. Знак «+» или «-» в формуле (1.7) выбирают в зависимости от знака градиента скорости. Если вектор нормали направлен от стенки трубы внутрь

жидкости и скорость по нормали возрастает, то следует принимать знак «-».

Разделив величину силы  $F_{\text{ж}}$  на площадь поверхности внутри жидкости, на которую она действует, и принимая приращение скорости очень малым на малом приращении нормали, получим *касательное напряжение, вызванное силой вязкого трения в жидкости*:

$$\tau_{\text{ж}} = -\mu_{\text{ж}} \frac{\Delta U}{\Delta n}. \quad (1.8)$$

Если сила вязкого трения измеряется в ньютонах, то напряжение, вызванное этой силой, будет измеряться в ньютонах на квадратный метр ( $\text{Н}/\text{м}^2$ ). Размерный коэффициент  $\mu_{\text{ж}}$ , входящий в это уравнение, устанавливает связь между касательным напряжением силы трения  $\tau_{\text{ж}}$  и градиентом скорости  $\Delta U/\Delta n$ :

$$\mu_{\text{ж}} = \tau_{\text{ж}} \left/ \left| \frac{\Delta U}{\Delta n} \right| \right.$$

Этот коэффициент называется *коэффициентом динамической вязкости* или *динамической вязкостью*. Единица его измерения следует из уравнения (1.8) — ньютон-секунда на квадратный метр ( $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ ), или  $\text{Па} \cdot \text{с}$  (паскаль-секунда). Для практических целей более удобна производная единица миллипаскаль-секунда —  $1 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} = 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ .

Наряду с коэффициентом  $\mu_{\text{ж}}$  широко используется *коэффициент кинематической вязкости (кинематическая вязкость)*, представляющий собой отношение коэффициента динамической вязкости  $\mu_{\text{ж}}$  к плотности жидкости  $\rho$ :

$$\nu = \frac{\mu_{\text{ж}}}{\rho}.$$

Единицей измерения коэффициента кинематической вязкости является квадратный метр на секунду ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) или производная от нее единица — квадратный сантиметр на секунду ( $\text{см}^2/\text{с}$ ), называемая стокс (Ст);  $1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ . Чаще применяется в 100 раз меньшая единица, которая более удобна, она называется сантистокс (сСт):  $1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$ .

Отметим в качестве примера, что для воды при  $20^\circ\text{С}$ :  $\mu_{\text{ж}} = 1,002 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 1,002 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ ;  $\nu = 1,006 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} = 1,006 \text{ сСт}$ .

Вязкость рабочих жидкостей, обычно применяемых в гидроприводах, равна 20...40 сСт (при температуре  $50^\circ\text{С}$ ).

Вязкость жидкостей на нефтяной основе определяется стандартными методами в соответствии с ГОСТ 33—2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости».

Кроме единиц вязкости в системе СИ находят применение несколько других единиц: градусы Энглера, секунды Сейболта и др. Соотношение этих единиц можно найти в справочной литературе [5].

Общей особенностью всех жидкостей является существенное уменьшение вязкости с ростом температуры. Одной из немногих аномальных жидкостей является вода, вязкость которой имеет наибольшее значение при температуре 4 °С.

Для жидкостей, обычно применяемых в гидросистемах, например масел на основе продуктов переработки нефти, и некоторых других жидкостей, зависимость вязкости от температуры описывается уравнением

$$\nu_T = \frac{50^n}{T^n} \nu_{50},$$

где  $\nu_T$  — кинематическая вязкость при данной температуре  $T$ ;  $n$  — показатель степени, зависящий от марки масла,  $n = 1,39$  для масла вязкостью 2,8 сСт и  $n = 2,32$  для масла вязкостью 45 сСт;  $\nu_{50}$  — кинематическая вязкость при температуре 50 °С.

В практических целях применяется также *температурный коэффициент вязкости* (ТКВ). Масла, для которых с ростом температуры вязкость уменьшается в меньшей степени, характеризуются меньшим значением ТКВ.

Для вычисления ТКВ используется следующая формула:

$$\text{ТКВ}_{0-100} = \frac{\nu_0 - \nu_{100}}{\nu_{50}},$$

где  $\nu_0$  — кинематическая вязкость при 0 °С;  $\nu_{100}$  — кинематическая вязкость при 100 °С.

Графический вид зависимости кинематической вязкости от температуры для некоторых минеральных масел в логарифмической системе координат показан на рис. 1.1. Характеристики этих марок масел приведены в Приложении 2.

На графике слева, т. е. при низких температурах, эти зависимости ограничиваются *температурой застывания*. При этой температуре вязкость возрастает настолько, что подвижность жидкости практически исчезает. Для жидкостей на нефтяной основе эта температура определяется по ГОСТ 20287—91 «Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания». Оборудование допускается к эксплуатации при температуре на 10... 17 °С выше температуры застывания.

Справа, т. е. при высоких температурах, температурно-вязкостные характеристики минеральных масел ограничены температурой, при которой начинается интенсивный переход основных, наиболее легких, фракций масла в газовую (парообразную) фазу.

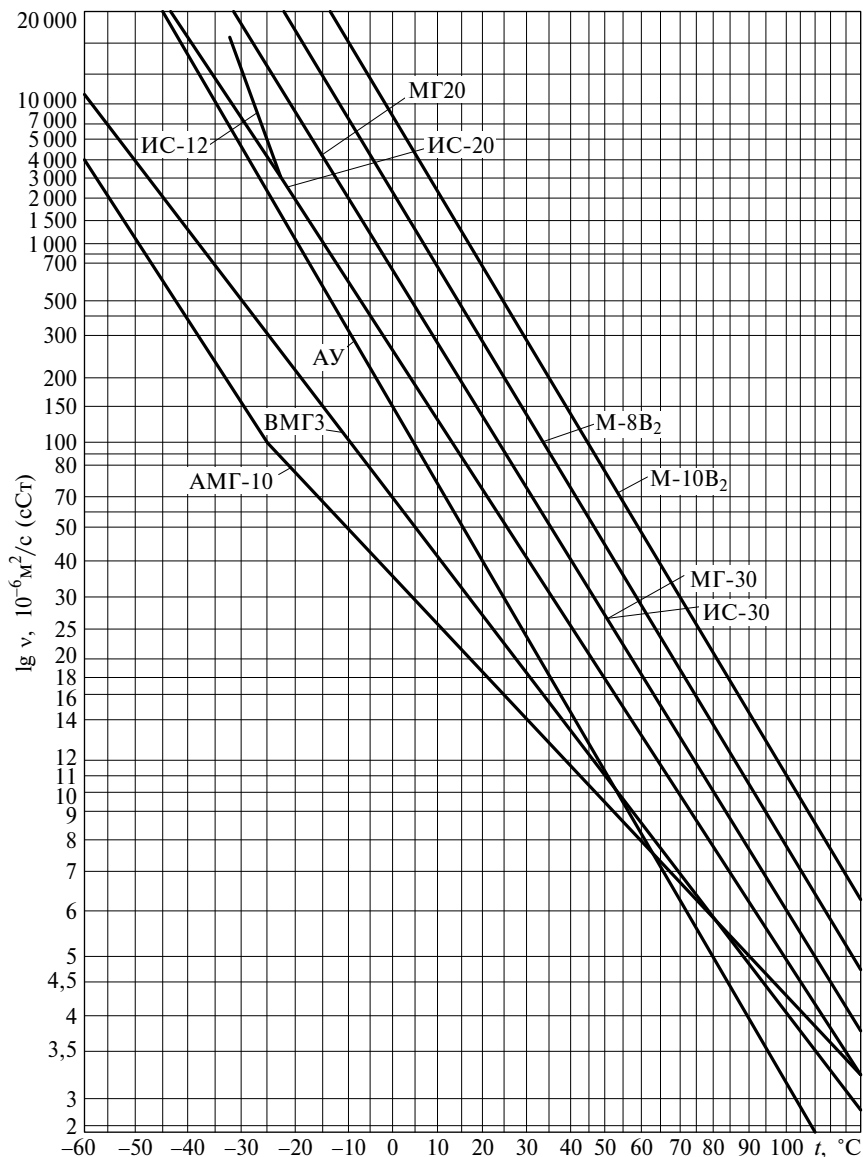


Рис. 1.1. Температурно-вязкостные характеристики распространенных марок масел

Это состояние регламентируется *температурой вспышки*. Температурой вспышки считается наименьшая температура, при которой происходит возгорание масла, если к его нагретой поверхности поднести открытое пламя.

Вязкость растет с увеличением давления. На зависимость вязкости от давления также влияют вид данной жидкости, ее температура, начальное давление и интервал изменения давлений. В рабочих системах, работающих при давлениях до 25 МПа, зависимость вязкости от давления пренебрежимо мала.

## 1.5. Стабильность масел

С течением времени в процессе эксплуатации или хранения свойства рабочих жидкостей изменяются. Это происходит вследствие химических и механических процессов, оказывающих влияние на состав жидкостей и их структуру. Так, гидравлические масла на нефтяной основе с присадками с течением времени окисляются и теряют свои противокоррозионные свойства. При протекании через узкие зазоры под большими перепадами давлений происходит «мятие» масла — разрушение наиболее крупных молекул основы масла и присадок. В результате происходит отложение смол, которое ухудшает гидравлические свойства каналов.

Окислительные свойства масла оцениваются кислотным числом (число КОН), которое представляет собой количество гидроксида калия (КОН) в миллиграммах, необходимого для нейтрализации кислот, содержащихся в 1 г масла. Обычно число КОН для масла без присадок равно 0,1 ... 0,2 мг. Резкое возрастание этого показателя в пробах, которые периодически берутся при эксплуатации, показывает, что в масле начался процесс старения. Масло подлежит замене, когда число КОН превысит 1,5 мг. Стабильность масел регламентируется ГОСТ 981—75 «Масла нефтяные. Методы определения стабильности против окисления», ГОСТ 5985—79 «Нефтепродукты. Методы определения кислотности и кислотного числа» и ГОСТ 11362—96 «Нефтепродукты и смазочные масла. Число нейтрализации. Метод потенциометрического титрования».

Контакт свободной поверхности рабочей жидкости с воздухом или его поступление через неплотности в область пониженного давления приводит к образованию газовой фазы. При этом воздух может содержаться как в виде механической примеси, так и в растворенной (молекулярной) форме. Эти процессы имеют негативный характер, так как кислород, содержащийся в воздухе, вызывает окислительные процессы, а значительное содержание воздуха приводит к уменьшению упругих свойств рабочей жидкости.

При нормальном атмосферном давлении в 1 л масла может содержаться до 100 см<sup>3</sup> воздуха. С повышением давления пузырьки включенного воздуха сжимаются и его относительное содержание (по объему) уменьшается. Модуль упругости жидкости, содержащей 1 % воздуха, почти в 2 раза меньше, чем жидкости, в которой не растворен воздух.