

$$I\bar{Y} = \left(z + \frac{y}{t}\right) \ln c. \quad (6)$$

Здесь  $\bar{Y}$  — средняя энергия Гиббса основного реагента, приходящаяся на его молекулу в данный момент времени в среде реакции;

$I$  — коэффициент детерминизма.

Если, при этом, энергия  $\bar{Y}$  мало изменяется в процессе реакции (слабо зависит от окружения другими молекулами в среде реакции), то величину  $I$  можно приближенно вычислить согласно выражению:

$$I = -\frac{1}{Kt} \ln \left(1 - \frac{\ln c}{\ln c_\infty}\right), \quad (7)$$

где  $K$  — постоянная Больцмана;

$T$  — температура, К.

Уравнение ПК можно применить для изучения гетерогенных процессов любой природы и при разных температурах. Это позволит экспериментально установить влияние температуры и других условий проведения реакции на коэффициенты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и вскрыть их внутреннюю термодинамическую природу. Таким образом, это уравнение дает возможность получить о реакции сведения, которые имеющимися химико-кинетическими средствами получить не удается.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Домбург Г. Э., Сергеева В. Н. Изменение термографической характеристики природного лигнина при действии на древесину березы едкого натра // *Химия древесины*.— 1970.— № 6.— С. 121—126. [2]. Кинетика маломодульного гидролиза гемицеллюлоз осины в присутствии 1 %-й  $H_2SO_4$  / Н. И. Корольков, С. П. Яблочкина, В. А. Быков, В. П. Ливанова // *Химия древесины*.— 1984.— № 3.— С. 30—33. [3]. Крылов В. С., Паюсов С. А. Способ определения константы скорости реакции первого порядка по небольшому числу экспериментальных данных // *Химия и химич. технология*.— 1988.— Т. 31.— № 3.— С. 51—53.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Мартынов Л. М. Кинетика варки древесины в аппаратах непрерывного действия типа Пандия // *Целлюлоза, бумага и картон: Науч.-техн. реф. сб.*— 1973.— № 33.— С. 5—6. [5]. Мацело Т. В., Дудкин М. С., Рыжих Г. А. Кинетика гидролиза гемицеллюлоз древесины тополя в процессе бисульфитной варки // *Сб. тр. / УкрНИИБ*.— М., 1971.— № 14.— С. 11—18. [6]. Наумова В. Н., Зарудская О. Л., Колродский И. А. Отбелка целлюлозы надуксусной кислотой // *Бум. пром-сть*.— 1971.— № 3.— С. 19—20. [7]. Парфенова А. И., Элиашберг М. Г. Растворение твердых лигносульфоновых кислот и их солей. // *Сб. тр. / ВНИИБ*.— Л., 1967.— Вып. 53.— С. 25—44. [8]. Паюсов С. А., Крылов В. С., Шарыпова Л. Н. Унифицированное представление данных для описания кинетических процессов целлюлозного и гидролизного производств // *Основные направления научно-технического прогресса в лесном комплексе Коми АССР: Тез. науч.-техн. конф.*— Сыктывкар, 1988.— С. 79—80. [9]. Химические и физико-химические изменения в волокнах льна в зависимости от способа приготовления льнотресты / А. М. Шишко, И. Н. Абрампольский, Д. В. Мацкевич, Т. В. Мурашкевич // *Химия древесины*.— 1984.— № 1.— С. 95—98. [10]. Шульман И. С., Морин А. К. Механизм и кинетика водного гидролиза // *Химия древесины*.— 1984.— № 3.— С. 20—22.

Поступила 30 марта 1990 г.

УДК 676.16

### К ТЕОРИИ РОТАЦИОННОГО ВИСКОЗИМЕТРА ПРИ ПЕРЕХОДНОМ ТЕЧЕНИИ ВОЛОКНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ

В. А. БАБКИН

Петрозаводский государственный университет

Ротационный вискозиметр состоит из двух соосных цилиндров: вращающегося и неподвижного. Между цилиндрами помещается исследуемая среда,

Пусть в ротационный вискозиметр помещена волокнистая суспензия концентрации  $c$ , большей, чем концентрация седиментации. Предполагая в дальнейшем сравнение теоретических результатов с известными экспериментальными результатами работы [6], примем, что в вискозиметре внутренний цилиндр радиуса  $R_1$  неподвижен, а внешний  $R_2$  вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega_2$ . Задача состоит в том, чтобы найти связь между касательными напряжениями на поверхности цилиндров и угловой скоростью внешнего цилиндра.

В зависимости от скорости вращения устанавливается один из режимов движения суспензии между цилиндрами: стержневой, переходный или турбулентный [6]. Анализ стержневого течения суспензии между соосными цилиндрами дан в [2, 3]. В настоящей работе рассмотрено действие вискозиметра при переходном течении.

Перейдем к решению задачи. Для простоты цилиндры будем считать бесконечными. Возьмем цилиндрическую систему координат  $r, \varphi, x$ : ось  $x$  — по общей оси цилиндров; угол  $\varphi$  отсчитывают в сторону вращения внешнего цилиндра.

При переходном режиме область течения  $R_1 \leq r \leq R_2$  состоит из двух частей: в одной волокна образуют сеть, а в другой сеть волокон разрушена [6]. Поскольку наибольшие касательные напряжения возникают в области, прилегающей к внутреннему цилиндру, примем, что  $R_1 < r < R_0$  — это область с разрушенной сетью волокон,  $R_0 < r \leq R_2$  — область с неразрушенной сетью волокон, вращающаяся с угловой скоростью  $\omega_2$ , и  $r = R_0$  — граница областей. В пользу такого предположения говорит анализ, проведенный в [3]: теория хорошо согласуется с экспериментальными результатами [6] для стержневого течения в случае, когда пристеночный слой образуется только у внутреннего (неподвижного) цилиндра, а вся масса волокон вращается с угловой скоростью  $\omega_2$ .

Для описания движения суспензии в области  $R_1 < r < R_0$  рассмотрим ее как совокупность двух взаимопроникающих континуумов [4], один из которых образован жидкой фазой, а другой — волокнами. Параметры континуумов будем обозначать индексами ( $\alpha$ ) сверху, причем  $\alpha = 1$  — для параметров жидкой фазы и  $\alpha = 2$  — для волокон.

Кинематические параметры континуумов — скорости  $v_i^{(\alpha)}$ ,  $i = r, \varphi, x$ . Если пренебречь силами тяжести, то с учетом симметрии течения можно считать:

$$v_r^{(\alpha)} = v_x^{(\alpha)} = 0; \quad v_\varphi^{(\alpha)} = v^{(\alpha)}(r); \quad \alpha = 1, 2. \quad (1)$$

Континуум жидкой фазы будем рассматривать как вязкую несжимаемую жидкость с эффективным коэффициентом динамической вязкости  $\mu_0$ , зависящим от вязкости жидкой фазы и концентрации суспензии. Тогда с учетом формул (1) напряжения в нем определяем формулами [4]:

$$\begin{aligned} \tau_{ii}^{(1)} &= -mp; \quad i = r, \varphi, x; \\ \tau_{r\varphi}^{(1)} = \tau_{\varphi r}^{(1)} &= \mu_0 r \omega'(r), \quad \tau_{xr}^{(1)} = \tau_{rx}^{(1)} = \tau_{x\varphi}^{(1)} = \tau_{\varphi x}^{(1)} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$p$  — давление;

$m$  — объемная доля жидкой фазы;

$\omega(r)$  — функция, определяемая равенством  $v^{(1)}(r) = r \omega(r)$ ;

$$\omega'(r) = \frac{d\omega(r)}{dr}.$$

Континуум волокон в области  $R_1 < r < R_0$  получается в результате разрушения сети волокон за счет приложенных напряжений. Как известно [2, 3, 6], сеть волокон представляет собой упругое тело, поэтому

поведение континуума волокон после разрушения сети волокон естественно считать аналогичным поведению упругого тела за пределом текучести. Принимая во внимание большие относительные перемещения волокон в диспергированной суспензии, континуум волокон в области  $R_1 < r < R_0$  будем рассматривать как идеально пластическую среду. Тогда при условиях текучести Мизеса [5], с учетом формул (1), напряжения в континууме волокон определяются формулами:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{ii}^{(2)} &= -(1 - m) p; \quad i = r, \varphi, x; \\ \tau_{\varphi r}^{(2)} &= \tau_{r\varphi}^{(2)} = \tau_0; \quad \tau_0 = \sigma_0 \operatorname{sgn} e_{\varphi r}^{(2)}; \\ \tau_{xr}^{(2)} &= \tau_{rx}^{(2)} = \tau_{x\varphi}^{(2)} = \tau_{\varphi x}^{(2)} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $\sigma_0$  — предел текучести сети волокон при сдвиге;  
 $e_{\varphi r}^{(2)}$  — скорость сдвига континуума волокон.

Предположим, что оба континуума несжимаемы, тогда уравнения неразрывности скоростями (1) удовлетворяются тождественно.

Уравнение движения для среды в целом в проекциях на ось  $r$  при установившемся режиме имеет вид [4]

$$\frac{d\tau_{\varphi r}}{dr} + 2\frac{\tau_{\varphi r}}{r} = 0. \quad (4)$$

Интегрируя это уравнение, получаем

$$\tau_{\varphi r} = \tau_1 \frac{R_1^2}{r^2}, \quad (5)$$

где  $\tau_1$  — касательное напряжение на поверхности внутреннего цилиндра.

Так как  $\tau_{\varphi r} = \tau_{\varphi r}^{(1)} + \tau_{\varphi r}^{(2)}$ , то, подставляя выражения для  $\tau_{\varphi r}^{(1)}$  и  $\tau_{\varphi r}^{(2)}$  из (2) и (3), получаем:

$$\mu_0 r \omega' + \tau_0 = \tau_1 \frac{R_1^2}{r^2}. \quad (6)$$

При переходном движении волокна суспензии не прилипают к твердой стенке [6], поэтому в качестве граничного условия для суспензии естественно принять  $\omega(R_1) = \omega_*$ , где  $\omega_*$  — эмпирическая константа. Интегрируя уравнение (6) с этим условием, получаем:

$$\omega = \omega_* + \frac{1}{\mu_0} \left[ \frac{\tau_1}{2} \left( 1 - \frac{R_1^2}{r^2} \right) + \tau_0 \ln \frac{R_1}{r} \right]. \quad (7)$$

Из постановки задачи вытекает, что  $\omega_2 = \omega(R_0)$ . Величина  $R_0$  определяется из условия равенства моментов касательных напряжений на поверхностях  $r = R_1$  и  $r = R_0$

$$\sigma_0 R_0^2 = \tau_1 R_1^2. \quad (8)$$

Подстановка в формулу (7)  $r = R_0$  и учет равенства (8) дают искомую связь между угловой скоростью  $\omega_2$  и напряжением  $\tau_1$

$$\omega_2 = \omega_* + \frac{1}{2\mu_0} \left( \tau_1 - \sigma_0 + \tau_0 \ln \frac{\sigma_0}{\tau_1} \right). \quad (9)$$

При  $\tau_1 \rightarrow \sigma_0$ , очевидно,  $\omega_2 \rightarrow \omega_*$  и, таким образом,  $\omega_*$  — это значение угловой скорости внешнего цилиндра, при которой начинается переходное течение.

Формула (9) справедлива только, когда модуль касательного напряжения  $\tau_2$  на поверхности наружного цилиндра не превышает  $\sigma_0$ . Значение предельной угловой скорости  $\omega_2 = \omega_{20}$ , до которой применима формула (9), можно получить из нее при условии  $\tau_2 = \sigma_0$  и, следовательно:

$$\tau_1 = \sigma_0 h^2, \quad (10)$$

где  $h = R_2/R_1$ .

Тогда

$$\omega_{20} = \omega_* + \frac{\sigma_0(h^2 - 1) - 2\tau_0 \ln h}{2\mu_0}. \quad (11)$$

При  $\tau_2 > \sigma_0$  вся суспензия между цилиндрами переходит в диспергированное состояние. Зависимость  $\tau_1(\omega_2)$  следует из формулы (7) при  $r = R_2$  и имеет линейный вид

$$\omega_2 = \omega_* + \frac{1}{\mu_0} \left[ \frac{\tau_1}{2} \left( 1 - \frac{1}{h^2} \right) - \tau_0 \ln h \right]. \quad (12)$$

Производные  $d\omega_2/d\tau_1$  функций (9) и (12) при  $\omega_2 = \omega_{20}$  соответственно таковы:

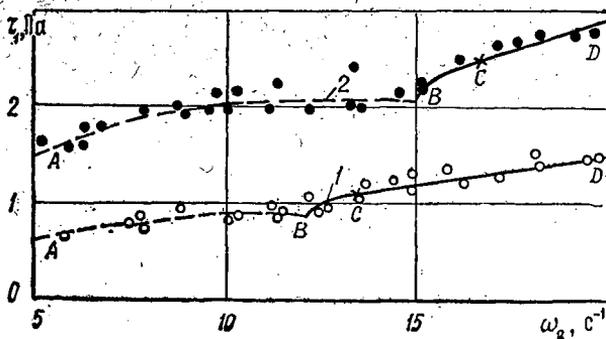
$$\frac{d\omega_2}{d\tau_1} = \frac{1}{2\mu_0} \left( 1 - \frac{\tau_0}{\sigma_0 h^2} \right); \quad (13)$$

$$\frac{d\omega_2}{d\tau_1} = \frac{1}{2\mu_0} \left( 1 - \frac{1}{h^2} \right). \quad (14)$$

Если  $\tau_0 = \sigma_0$ , то эти производные равны, и переход суспензии в полностью диспергированное состояние на графике  $\tau_1(\omega_2)$  отражается просто как гладкий переход от криволинейной части графика к прямой. Если  $\tau_0 < \sigma_0$ , то производные (13), (14) не равны, и график  $\tau_1(\omega_2)$  будет иметь излом при  $\omega_2 = \omega_{20}$ .

Для суспензий белой сульфитной целлюлозы концентраций 0,5 и 0,8 % на рисунке приведены экспериментальные точки зависимости  $\tau_1(\omega_2)$ , охватывающей стержневое и переходное течения в окрестности точки перехода на ротационном вискозиметре с внешним вращающимся цилиндром [6]. Размеры установки:  $R_1 = 0,119$  м,  $R_2 = 0,130$  м. Для наглядности эмпирические точки для стержневого течения осреднены пунктирной дугой  $AB$ .

Дуга  $BC$  и прямая  $CD$  (точка  $C$  отмечена крестиком) — результат расчета соответственно по формулам (9) и (12) при  $\tau_0 = \sigma_0$  и при следующих значениях параметров:  $\omega_* = 12,2$ ;  $15$  с<sup>-1</sup>;  $\sigma_0 = 0,92$ ;  $2,1$  Па;  $\mu_0 = 0,006$ ;  $0,0105$  Па · с для  $c = 0,5$  и  $0,8$  % соответственно. Согласование теоретических и экспериментальных результатов хорошее.



Зависимость между касательным напряжением на поверхности внутреннего цилиндра  $\tau_1$  и угловой скоростью вращения  $\omega_2$  для суспензий разной концентрации: 1 —  $c = 0,5$ ; 2 —  $0,8$  %

Рассмотренное выше течение диспергированной суспензии в рамках более общей модели называется переходным [1]. Из сопоставления аналогичных течений в вискозиметре и прямой трубе [1] следует, что эффективная вязкость  $\mu_0$  для одной и той же суспензии в обоих случаях должна быть одинакова. Таким образом, ротационный вискозиметр может быть использован для определения величины  $\mu_0$ , причем формулы (9) и (12) при обработке являются расчетными.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Бабкин В. А. Переходное течение волокнистой суспензии в трубе как течение анизотропной жидкости // *Механика жидкости и газа*.— 1985.— № 5.— С. 91—98.— (Изв. АН СССР). [2]. Бабкин В. А. Сдвиг волокнистой суспензии между коаксиальными цилиндрами // *Механика жидкости и газа*.— 1975.— № 2.— С. 80—85.— (Изв. АН СССР). [3]. Бабкин В. А. Стержневое течение Куэтта волокнистой суспензии между соосными цилиндрами // *Механика жидкости и газа*.— 1987.— № 6.— С. 29—36.— (Изв. АН СССР). [4]. Николаевский В. Н. *Механика пористых и трещиноватых сред*.— М.: Недра, 1984.— 232 с. [5]. Седов Л. И. *Механика сплошной среды*.— М.: Наука, 1970.— Т. 2.— 568 с. [6]. Терентьев О. А. *Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве*.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 248 с.

Поступила 6 марта 1989 г.

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 630\*863.002.51.004.62

### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРАЛЬНОГО ИЗНОСА ВЕДУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОЛИЗНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В. И. МОСЯГИН

Ленинградская лесотехническая академия

Сущность морального износа первого рода заключается в утрате действующим оборудованием части стоимости вследствие повышения производительности общественного труда в отраслях, производящих это оборудование.

Моральный износ второго рода — это частичная или полная потеря стоимости действующего оборудования в связи с появлением оборудования, усовершенствованного, более производительного и дешевого в эксплуатации.

Ряд экономистов ([1—7, 9] и др.) предлагают разные подходы к оценке морального износа различных видов основных производственных фондов. В данной статье на основе изучения экономической сущности морального износа и анализа специфических особенностей процесса восстановления основных производственных фондов гидролизной промышленности рассмотрен метод оценки морального износа гидролизаторов — ведущего оборудования гидролизных производств.

В отраслях, производящих гидролизаторы, имеет место тенденция снижения цены на изготовление новой техники аналогичного образца. Отсюда моральный износ первого рода количественно можно выразить по формуле

$$И_1 = \frac{Ц_n - Ц_n}{Ц_n},$$

где  $Ц_n$  — первоначальная стоимость единицы объема базового гидролизатора, р./м<sup>3</sup> (в качестве базового принимается действующий или подлежащий замене гидролизатор, с которым сравнивается новая его модель);

$Ц_n$  — стоимость единицы объема новой модели гидролизатора аналогичного образца, р./м<sup>3</sup>.

Моральный износ второго рода представляет собой обесценивание действующего оборудования вследствие появления более совершенных видов техники, что находит отражение в потере потребительских свойств последней. Совокупность же потребительских свойств оборудования количественно можно оценить с помощью интегрального показателя (коэффициента). В этом случае моральный износ второго рода, как изменение потребительских свойств гидролизатора, можно рассчитать по формуле

$$И_2 = \frac{Ц_n - Ц_n/K}{Ц_n},$$

где  $K$  — интегральный коэффициент потребительских свойств гидролизаторов.

Тогда общая величина морального износа гидролизаторов