

8. Будник, В.С. Обобщенный энергетический подход к организации теплообменных процессов в свободном газовом объеме топливных баков жидкостных ракет [Текст] / В.С. Будник, Ю.Ф. Даниев, Н.Ф. Свириденко // Техническая механика. – 1998. – №7. – С. 98 – 106.

Abstract

One of the ways of improving the efficiency of pressurization systems of fuel tanks of launch vehicles powerplant engines is raising the temperature increase of working body while entering the tank. At the moment 1100 K temperature is reached, but even with usage of this temperature the problem of overheating of aluminum top floor occurred. Attempts to stretch a cloud of overheated gas gave no result due to limiting action of its design using tradition jet input of hot gas into tanks.

The extension movement of hot gas injected as vortex circles considering carrier conditions (a range of pressures, tank geometry, time of pressurization work and other) was experimentally investigated. Inject speed ranged 4-10 m/s. Ratios of tank diameter to ring diameter in which limiting action of tank starts showing were found. Frequencies for injection of vortex circles into tank when channeling mode begins are determined. Also main factors that influence on vortex circles range in tank are identified. Main parameters of gas flow in tank after breaking of vortex circles are counted.

The obtained results of vortex circles spreading in ranged conditions allow to see the prospects optimistically in using this method of injecting working body with high temperature in free space of powerplant engines fueled tanks. It is appropriate to continue exploring the determination of interaction mechanism of vortex circles and fuel surface, to continue exploring optimal design of vortex circles generator

Keywords: *pressurization, limiting action, vortex circles, range, high elongation tanks*

УДК 532.53

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ПО ДЛИНЕ РАСХОДОМ

Башир Хоггас

Аспирант

Кафедра прикладной гидроаэромеханики и
механотроники

Национальный технический университет
Украины

«Киевский политехнический институт»

ул. Звиреницькая, 76. г. Киев, Украина, 01901

Контактный тел.: 093-575-07-32

Email: hoggas36@yahoo.fr

Розглянуто течію аномально-в'язкої рідини в трубопроводах зі змінними за довжиною витратою. В якості робочих рідин використовувалися середовища, які моделюють реологічну поведінку нафти. Представлено реологічні характеристики з різних нафтових джерел Алжирської народної демократичної республіки. На основі описаного в роботі експериментального стенда отримано дані з визначення коефіцієнта гідравлічного тертя і факторів, які впливають на нього

Ключові слова: *аномально-в'язка рідина, витрата, реологічні характеристики, коефіцієнт гідравлічного тертя, градієнт швидкості*

Рассмотрено течение аномально-вязких жидкостей в трубопроводах с изменяющимся по длине расходом. В качестве рабочих жидкостей использовались среды, моделирующие реологическое поведение нефти. Представлены реологические характеристики из разных источников Алжирской народной демократической республики. На основании описанного в работе экспериментального стенда получены данные по определению коэффициента гидравлического трения и факторов, оказывающих на него влияние

Ключевые слова: *аномально-вязкая жидкость, расход, реологические характеристики, коэффициент гидравлического трения, градиент скорости*

1. Введение

Повышение эффективности работы трубопроводов, в частности нефтепроводов, связано с решением целого ряда проблем, в том числе и проблем гидравли-

ческого расчета систем и потоков с изменяющимся по длине расходом протекающей жидкости. Рассматриваемые течения довольно часто встречаются в распределительных устройствах, поэтому эффективный расчет характеристик такого потока представляет важную

собой техническую проблему. Если для ньютоновских жидкостей подобные задачи достаточно хорошо освещены в литературе, то для неньютоновских жидкостей, например нефти и нефтепродуктов они исследованы недостаточно.

Отсутствие методик расчета подобных течений делает актуальной рассматриваемую гидравлическую проблему и, в случае её решения, возможно существенное корректирование имеющихся в настоящее время методик расчета. Это является важным элементом для проектирования гидравлических систем в нефтедобывающие отрасли Алжира, где широко используется транспортировка нефти по трубопроводам и терминалам в народном хозяйстве.

2. Анализ существующих результатов и постановка задачи исследований

Гидравлический расчет трубопроводов, в которых осуществляется движение вязких или аномально-вязких жидкостей с изменяющимся по длине расходом [1-6], неразрывно связан с изучением реологических особенностей данных жидкостей, в частности нефти и нефтепродуктов. Располагая данными о реологических свойствах рассматриваемых сред, можно провести анализ соответствующих уравнений движения, обобщить экспериментальные данные и решить задачи о влиянии характера изменения расхода потока жидкости по длине трубопровода на гидравлические потери.

По существу эта является целью проведения экспериментов. Предполагается, что в связи с изменением расхода жидкости по длине, течение может быть нестабилизированным, а, следовательно, на поток оказывают влияние не только силы вязкости, но и силы инерции от конвективного ускорения. Кроме того, предполагается, что отбор жидкости от транзитного потока происходит через насадки, расположенные на равных расстояниях друг от друга (рис. 1). В зависимости от условий входа потока в насадок, в нем можно ожидать дестабилизации потока.

Проведенные реологические исследования [7] образцов показали, что реологические свойства образцов нефти близки к моделям псевдопластичных, дилатантных и вязкопластичных жидкостей, т. е. жидкостей, подчиняющихся законам Освальда де Вилля и Шведова-Бингама [8,9]. В некотором диапазоне градиентов скоростей для описания реологического поведения, рассматриваемых сред можно использовать ньютоновскую модель.

Существенное влияние на значение вязкости и на реоло-

гический закон оказывает температура, причем зависимость вязкости нефти от температуры близка к формуле Андраде [10]:

$$\mu = A \exp \frac{E}{RT}, \tag{1}$$

где E – величина характеризующая энергию активации;
R – газовая постоянная;
A – постоянная величина.

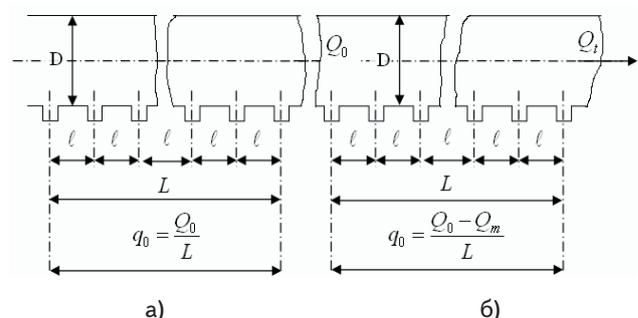
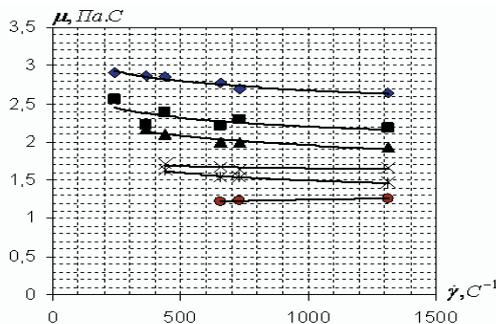


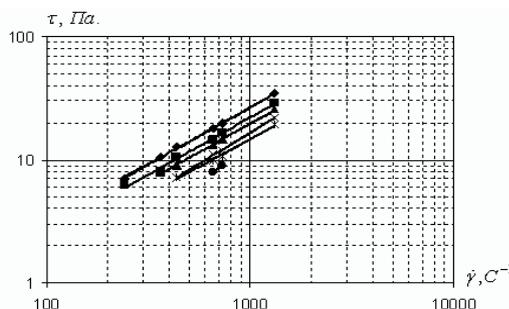
Рис. 1. Схемы трубопроводов с переменным по длине расходом: а- без транзитного расхода; б- с транзитным расходом, где L – длина канала, Q₀ – расход исследуемой жидкости, Q_{тp} – транзитный расход, Q₀ – расход в насадки

На рис. 2 и 3 представлены зависимости вязкости от градиента скорости ($\mu = f(\dot{\gamma})$) и напряжений сдвига от градиента скорости ($\tau = f(\dot{\gamma})$) для пробы №1 Алжирского месторождения при температуре соответственно 20, 30, 50, 60 и 70 градусов Цельсия.



1. ♦ – температура 20 °с; 2. ■ – температура 30 °с; 3. ▲ – температура 40 °с; 4. x – температура 50 °с; 5. * – температура 60 °с; 6. ● – температура 70 °с.

Рис. 2. Зависимость вязкости (Па.с) от градиента скорости (1/с), $\mu = f(\dot{\gamma})$



1. ♦ – температура 20 °с; 2. ■ – температура 30 °с; 3. ▲ – температура 40 °с; 4. x – температура 50 °с; 5. * – температура 60 °с; 6. ● – температура 70 °с.

Рис. 3. Зависимость напряжения сдвига (Па) от градиента скорости (1/с), $\tau = f(\dot{\gamma})$

3. Обработка и анализ результатов эксперимента

На экспериментальном стенде (рис. 4) исследовалось течение модельных жидкостей, подчиняющихся степенному закону Освальда де Вилля. Стенд позволяет производить измерение интегральных параметров потока при условии отбора жидкости вдоль рабочего участка 4. Циркуляция жидкости осуществляется центробежным насосом, 5 регулируемым количеством оборотов. На рабочем участке установлены приборы для измерения температуры, давления, максимальной скорости на оси потока.

В экспериментах для отбора жидкости использовались насадки фиксированной длины и диаметра, в которых определялось гидравлическое сопротивление [11,12]. Исследование течения в насадках показало, что гидравлический расчет сопротивления в них можно осуществлять, используя гидродинамические представления о начальном участке (так же, как и для случая истечения жидкости через насадок, установленный в резервуаре) [13].

Определение закона распределения давления вдоль насадка позволило сделать заключение о том, что движение здесь является нестабилизированным, т.е. характерным для начального участка, длину которого можно определить по формуле:

$$L = \text{const} \cdot \text{Re} \cdot D, \tag{2}$$

где Re – число Рейнольдса для насадка (для каждого насадка значение числа Re было различным);

Const – величина постоянная ; D – диаметр насадка;

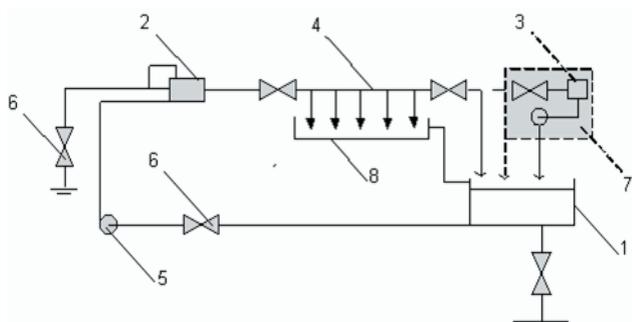
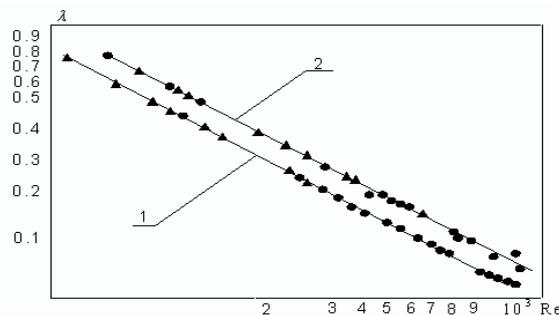


Рис. 4. Экспериментальный стенд: 1,2,3- резервуары; 4- рабочий участок (трубопровод с насосами, расположенными на равном расстоянии друг от друга); 5- насосы; 6- вентили; 7- насос расходомерного устройства; 8- ёмкость для отбора расхода жидкостей, вытекающих из насадок устройства измерения расхода

При экспериментах использовались насадки с диаметром от 0,8 до 1,6 см, длина насадка составляет 4,4 см. В табл. 1 представлены характеристики потока в насадках при течении водного раствора карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), как типичной неньютоновской жидкости Освальда де Вилля и глицерина, который, как известно, является ньютоновской жидкостью.

Сопоставление известных результатов исследования, связанных с определением коэффициента гидравлического трения λ при условии постоянства и изменения расхода, представлено на (рис. 5).



1- с постоянным расходом - ●●(КМЦ), ▲▲(глицерин)
2- с переменным расходом - ○○(КМЦ), △△(глицерин)

Рис. 5. Зависимость коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса при течении глицерина и КМЦ в трубе $d = 5,72$ см с постоянным и переменным расходом

На рис. 6 и рис. 7 даны зависимости расходов модельных жидкостей через насадки, расположенные вдоль трубопровода, от перепада давления.

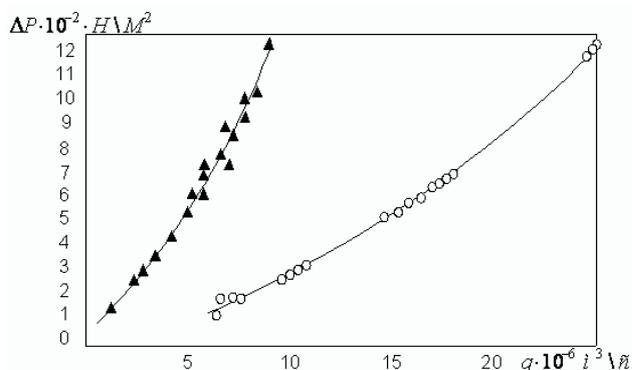


Рис. 6. Зависимость расхода через насадки, расположенные вдоль трубопровода, от перепада давления

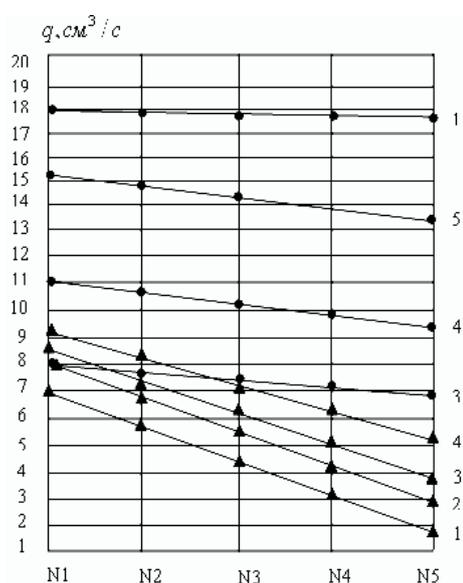


Рис. 7. Изменение расхода через насадки, расположенные вдоль трубопроводов (цифры на кривых соответствуют номерам опытов)

Таблица 1

Экспериментальные данные по исследованию течения жидкости в плоскощелевом канале диаметром 57,2 мм с расходом через насадки, расположенные вдоль оси

Расход, $10^{-6} (м^3/с)$	Средняя скорость, (м/с)	Коэффиц. Кинематической вязкости, $10^{-4} м^2/с$	Число Рейнольдса, Re	Коэффиц. гидравлического сопротивления λ	Перепад давления $\Delta \gamma Н/м^2$	Расстояние между насадками, l, м	Дефицит скорости, $U_{cp}/U_{cp.вых}$
1	2	3	4	5	6	7	8
ГЛИЦЕРИН ($\rho = 1121 \text{ КГ/М}^3$ ПРИ $23,5^{\circ}\text{C}$)							
Участок подхода к насадке 1							
340,51	0,58632	0,85	197,63	0,3411	-	-	1,0
359,19	0,61849	0,85	197,92	0,3234	-	-	1,0
375,47	0,64652	0,85	206,89	0,3093	-	-	1,0
467,44	0,80489	0,85	257,57	0,2485	-	-	1,0
Участок между насадками 1 - 2							
333,57	0,57437	0,85	183,81	0,3482	158	0,70	0,980
351,22	0,60477	0,85	193,53	0,3307	174	0,70	0,977
367,05	0,63202	0,85	202,05	0,3164	170	0,70	0,980
458,71	0,78985	0,85	252,76	0,2532	155	0,70	0,985
Участок между насадками 2 - 3							
327,90	0,56461	0,85	180,68	0,3542	152	0,70	0,964
344,48	0,59316	0,85	189,82	0,3372	165	0,70	0,957
359,80	0,61954	0,85	198,26	0,3228	168	0,70	0,959
450,84	0,77630	0,85	248,42	0,2576	140	0,70	0,967
Участок между насадками 3 - 4							
323,50	0,55704	0,85	178,26	0,3590	151	0,70	0,950
338,99	0,58371	0,85	186,79	0,3426	165	0,70	0,945
363,73	0,62631	0,85	200,43	0,3193	168	0,70	0,959
443,86	0,76228	0,85	244,57	0,2617	145	0,70	0,952
Участок между насадками 4 - 5							
320,37	0,55165	0,85	176,50	0,3625	149	0,70	0,942
334,72	0,57635	0,85	184,44	0,3470	162	0,70	0,932
348,82	0,60063	0,85	192,21	0,3330	164	0,70	0,932
437,74	0,75375	0,85	241,21	0,2653	140	0,70	0,939
Участок транзитного расхода							
318,50	0,5483	0,85	175,50	0,3647	-	-	0,936
331,80	0,57133	0,85	182,83	0,3500	-	-	0,923
345,10	0,59423	0,85	190,16	0,3366	-	-	0,922
432,50	0,77472	0,85	238,31	0,2686	-	-	0,928
2.2% ВОДНЫЙ РАСТВОР КМЦ ($\rho = 1200 \text{ КГ/М}^3$ ПРИ 20°C)							
Участок подхода к насадке № 1							
152,55	0,2627	-	521,18	0,1228	-	-	1,000
179,19	0,2982	-	588,28	0,1088	-	-	1,000
208,06	0,3583	-	677,00	0,0945	-	-	1,000
248,31	0,4276	-	801,89	0,0798	-	-	1,000
327,61	0,5641	-	1059,20	0,608	-	-	1,000
Участок между насадками 1 - 2							
134,49	0,2316	-	469,66	0,1363	12	0,70	0,876
147,19	0,2534	-	499,26	0,1282	15	0,70	0,848
200,05	0,3445	-	673,71	0,0950	10	0,70	0,962
237,57	0,4091	-	766,13	0,0835	7	0,70	0,958
312,48	0,5381	-	1100,20	0,582	19	0,70	0,954
Участок между насадками 2 - 3							
116,54	0,2007	-	413,71	0,1547	12	0,70	0,740
122,26	0,2105	-	414,97	0,1542	15	0,70	0,705
192,37	0,3312	-	624,20	0,1025	10	0,70	0,921
227,18	0,3912	-	736,16	0,0869	8	0,70	0,916
297,75	0,5127	-	1065,00	0,0601	19	0,70	0,908
Участок между насадками 3 - 4							
97,49	0,1679	-	357,93	0,1788	12	0,70	0,607
98,70	0,1699	-	359,35	0,1781	15	0,70	0,569
185,02	0,3186	-	601,21	0,1064	10	0,70	0,889
217,14	0,3739	-	704,10	0,0909	7	0,70	0,874
283,42	0,4880	-	1020,80	0,0627	19	0,70	0,866

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Участок между насадками 4 - 5							
72,88	0,1255	-	269,47	0,2375	12	0,70	0,477
80,96	0,1394	-	318,33	0,2010	15	0,70	0,437
177,99	0,3065	-	579,54	0,1104	10	0,70	0,854
207,45	0,3572	-	669,46	0,0956	8	0,70	0,836
269,49	0,4640	-	1041,30	0,0615	120	0,70	0,823
Участок транзитного расхода							
48,44	0,0837	-	189,40	0,3380	-	-	0,348
63,33	0,1090	-	249,00	0,2570	-	-	0,318
171,29	0,2949	-	623,57	0,1026	-	-	0,823
198,11	0,3411	-	640,64	0,0999	-	-	0,800
255,96	0,4407	-	989,85	0,0647	-	-	0,780

4. Выводы

Использованный в настоящей работе разработанный автором экспериментальный стенд позволил провести исследования кинематических и динамических характеристики потоков двух типов жидкостей (ньютоновских и неньютоновских) с изменяющимся по длине расходом.

В частности, проведено моделирование течения жидкости, подчиняющихся подобным реологическим законам на стенде, рабочая часть которого представляет собой трубопровод, к которому вдоль его длины подключены цилиндрические насадки на расстоянии друг от друга равном 0,7 м.

Таким образом обеспечивается переменный расход по длине.

На основании анализа результатов эксперимента получены графические зависимости, характеризующие изменение давления по длине канала, коэффициенты гидравлического трения λ и динамические характеристики в насадках.

Кроме этого, полученные результаты дают возможность считать течение в магистрали нестабилизированным, а следовательно, для его описания может быть использована модель гидродинамического начального участка. Кроме того, применявшиеся на стенде насадки имели такую длину, при которой течение в них можно также считать нестабилизированным.

Литература

1. Навоян, Х. А. Гидравлический расчет напорных труб с равномерно изменяющимся расходом вдоль пути [Текст] / Х. А. Навоян // научные исследования по гидротехнике в 1973г – Л.: 1976.– Вып. 3. : с. 31– 38.
2. Животовский, Б.А. К вопросу о расчете трубопроводов с непрерывно меняющимся расходом по длине [Текст] / Б.А. Животовский // Труды университета дружбы народов им. П. Лумумбы – 1973, №65. – С. 132 – 137.
3. Коновалов, И.М. Движение жидкости с переменным расходом [Текст] / И.М. Коновалов // Труды Ленинградского института инженеров водного транспорта. – 1937. – Вып.8. – С. 47 – 53.
4. Große, S.; Schröder, W. “Two-Dimensional Visualization of Turbulent Wall Shear Stress Using Micropillars”, AIAA Journal 47 (2): 314–321 pp, Bibcode 2009.
5. Поляшов, Ю. А. Расчет трубопроводов с равномерной раздачей воды по длине [Текст] / Ю. А. Поляшов // Гидротехника и мелиорация. – 1970. – №9. – С. 68–69.
6. Кравчук, А.М. Расчет сборных трубопроводов произвольной длины с переменной перфорацией вдоль пути [Текст] / А.М. Кравчук // Гидравлика и гидротехника. – 1999. – Вып. 60. – С. 50–56.
7. Kirkham D., Schwab G.O. The effect of circular perforation of flow into subsurface drain tubes. 1.Theory. 2.Experiments and result// Agricult. Eng. – 1951. – 32. – P. 211 – 274.
8. Мак-Келви, Е. Переработка полимеров [Текст] / Мак-Келви Е. – М.: Мир, 1967. – 318 с.
9. Reiner V. Rheologie veb Fachbuchverlag. – Leipzig veb Fchbuchverlag. – 1960. – 361 p.
10. Торнер, Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процесса) [Текст] / Р. В. Торнер. - М.: Химия. –1977. – 464 с.
11. Матушкин, Н.И. О коэффициенте гидравлического трения при движении жидкости в трубопроводах с изменением расхода вдоль пути [Текст] / Матушкин Н.И. // Сб. трудов МИСИ им. В.В. Куйбышева - М.: – 1968. – №55. – С. 48–54.
- 12.Федорец, А. А. Определение коэффициента гидравлического трения в трубопроводах при отсоединении расхода [Текст] / А. А. Федорец, З. Р. Маланчук // Гидравлика и гидротехника. – 1980. – Вып. 31. – С.58–62.
13. Яхно, О. М. Гидродинамический начальный участок [Текст] / О. М. Яхно, В. М. Матиега, В. С. Кривошеев // ... – 2004 – 144 с.

Abstract

The article concerns the flow of abnormally viscous fluids in pipelines with length-varying flow rate. The solutions of carboxymethyl cellulose and glycerin were used as the working fluids, modelling the rheological behavior of oil. The rheological characteristics of Algerian oil at different temperatures were represented.

The obtained results of researches are presented as pressure curve along the channel at the flow of the aqueous solution of CMC with 2% concentration, which is a non-Newtonian fluid. The rheological behavior of this fluid can be described by Oswald de Ville's law. The scheme of the channel and the distance between the heads, mounted along the pipeline are presented in the figures. The table shows the experimental data to determine the coefficients of hydraulic friction λ in different areas and at different flow rates in accordance with the installation diagram. The dependence of the static pressure change along the channel is shown.

During the experiments, there were measured such quantities as pressure and its changes along the channel, the flow rate and its changes along the channel at fixed temperatures and set rheological properties of used fluids, and the flow rates, flowing through the heads

Keywords: abnormally viscous fluid, flow rate, rheological characteristics, coefficient of hydraulic friction, velocity gradient

На основі принципу максимуму ентропії отримана залежність для розподілу кількості мікротріщин по класах. Її негаусовий характер відповідає емпіричним даним. Виходячи з розуміння енергетичного балансу, який формується в процесі еволюції втомних мікротріщин, отримані співвідношення для їх швидкості росту і розміру. Виведена формула для втомної кривої

Ключові слова: гіперболічний розподіл, розподіл кількості мікротріщин, швидкість росту мікротріщин, формула втомної кривої

На основе принципа максимума энтропии получена зависимость для распределения количества микротрещин по классам. Ее негауссов характер соответствует эмпирическим данным. Исходя из понимания энергетического баланса, который формируется в процессе эволюции усталостных микротрещин, получены соотношения для их скорости роста и размера. Выведена формула для усталостной кривой

Ключевые слова: гиперболическое распределение, распределение количества микротрещин, скорость роста микротрещин, формула усталостной кривой

УДК 620.191.33 (045)

ЭНТРОПИЙНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ УСТАЛОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ

Н.И. Делас

Кандидат технических наук, докторант*

Контактный тел.: 067-501-62-77

E-mail: nikolaivad@gmail.com

В.А. Касьянов

Доктор технических наук, профессор

Кафедра механики*

Контактный тел.: 050-700-79-04

E-mail: vakasyanov@mail.ru

*Национальный авиационный университет
пр. Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03680**Вступление**

Подавляющее число эксплуатационных разрушений носит усталостный характер, поэтому проблема накопления повреждаемости является важнейшей и одновременно самой сложной проблемой теории прочности.

Видна тенденция к росту нагруженности материалов, и, как следствие, ресурс отдельных элементов конструкции стал ограничиваться развитием *дефектов малых размеров* [1]. Прогнозирование развития малых трещин, близких к характерным размерам

структуры материала, становится все более актуальной задачей.

В настоящее время существует достаточно много моделей, описывающих процесс роста микротрещин. Их условно можно разделить на три группы (множество ссылок можно найти, например, в [2]). Модели первой группы основаны на построении расчетных схем нагружения с попытками учета микроструктуры материала. Вторая группа основана на введении формального параметра повреждаемости и постулировании для него некоторого эволюционного уравнения, связывающего напряжение и скорость роста повреж-