



УДК 66.011

## БЕЗИНДИКАТОРНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ПО ПРОФИЛЮ СКОРОСТИ

●●●●●

## A NON-INDICATOR METHOD FOR DETERMINING THE STRUCTURE OF A STREAM FROM A VELOCITY PROFILE

**Голованчиков Александр Борисович**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Процессы и аппараты химических  
и пищевых производств»,  
Волгоградский государственный технический университет  
pahp@vstu.ru

**Меренцов Николай Анатольевич**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Процессы и аппараты химических  
и пищевых производств»,  
Волгоградский государственный технический университет  
pahp@vstu.ru

**Волжская Александра Владимировна**

магистрант кафедры «Процессы и аппараты химических  
и пищевых производств»,  
Волгоградский государственный технический университет  
volzhskayaav@gmail.com

**Прохоренко Наталья Андреевна**

старший преподаватель кафедры «Процессы и аппараты  
химических и пищевых производств»,  
Волгоградский государственный технический университет  
pahp@vstu.ru

**Аннотация.** Описание метода определения структуры потока  
в трубах, массообменных насадочных и тарельчатых, колон-  
ных аппаратах и химических реакторах, а также объектах дру-  
гих химической технологии и экологии.

**Ключевые слова:** структура потока, профиль скорости, инди-  
катор, кривые и функции отклика, дисперсия, число Пекле,  
ячеечная, диффузионная и комбинированная модели.

**Golovanchikov Alexander Borisovich**

Grand Ph. D. in Engineering sciences,  
Professor,  
Professor of the Department «Processes  
and Apparatuses of Chemical and Food  
Production»,  
Volgograd State Technical University  
pahp@vstu.ru

**Merentsov Nikolay Anatolyevich**

Ph. D. in Engineering sciences,  
Associate Professor,  
Associate Professor of the Department  
«Processes and Apparatuses of Chemical  
and Food Production»,  
Volgograd State Technical University  
pahp@vstu.ru

**Volzhskaya Alexandra Vladimirovna**

Master Student of the department  
«Processes and Apparatus of Chemical  
and Food Production»,  
Volgograd State Technical University  
volzhskayaav@gmail.com

**Prokhorenko Natalya Andreevna**

Senior Lecturer of the department  
«Processes and Apparatus of Chemical  
and Food Production»,  
Volgograd State Technical University  
pahp@vstu.ru

**Annotation.** Description of the method for  
determining the flow structure in pipes, mass  
transfer nozzles and disk, column apparatus-  
es and chemical reactors, as well as objects  
of other chemical technology and ecology.

**Keywords:** flow structure, velocity profile,  
indicator, response curves and functions,  
dispersion, Peclet number, cell, diffusion and  
combined models.

**В** отличие от известного метода определения структуры потока: дифференциальных и интегральных кривых и функций отклика или так называемых функций распределения по времени пребывания в объекте (РВП), когда в объект подается стандартный импульсный или ступенчатый сигнал, предлагаемый метод позволяет определять вышеуказанные функции отклика по профилю скорости, а так же определять по экспериментальной зависимости скорости от радиуса параметры структуры потока: дисперсию, время запаздывания, число ячеек в ячейочной модели, число Пекле по диффузионной модели и другие параметры при моделировании структуры потока другими комбинированными моделями.

Известный метод определения структуры потока основан на подаче входного импульсного, ступенчатого или другого стандартного сигнала на вход объекта: трубы, массо- или теплообменного аппарата и реактора, снятия так называемой кривой отклика на выходе, её математической обработке с целью моделирования структуры потока по типовым или комбинированным моделям структуры потока с определением их параметров: числом ячеек в ячейочной модели, числом Пекле в диффузионной модели, долей объемов зон идеального вытеснения или смешения при их последовательном и параллельном соединении и т.п. [1, 2].

Недостатками индикаторного метода определения структуры потока является относительная сложность оборудования, проблемы с точностью создания входного сигнала, проблемы со снятием кривых отклика с помощью радиационных изотопов и т.п.



Целью является определение параметров структуры потока по профилю скорости в объекте безиндикаторным методом соответственно.

По физическому смыслу доля частиц потока, выходящего из объекта в момент  $\theta = t / \tau$  за время  $d\theta$ , соответствует доли расхода:

$$Cd\theta = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot v \cdot dr}{\pi \cdot R^2 \cdot v_c}, \quad (1)$$

где  $t$  – текущее время;  $\tau$  – среднее время;  $C$  – дифференциальная функция отклика,  $r$  – текущий радиус,  $R$  – радиус трубы или аппарата,  $v$  и  $v_c$  соответственно текущая скорость и средняя скорость в объекте.

Элементарное время:

$$d\theta = \frac{v_c}{v^2} dv. \quad (2)$$

Тогда зная профиль скорости расчетные формулы для дифференциальной С-кривой отклика:

$$C = \frac{2}{(R \cdot v_c)^2} \cdot \frac{v^3}{dv/dr}. \quad (3)$$

А для интегральной С-функции отклика:

$$F = \frac{2}{R \cdot v_s} \int_0^r r \cdot v \cdot dr. \quad (4)$$

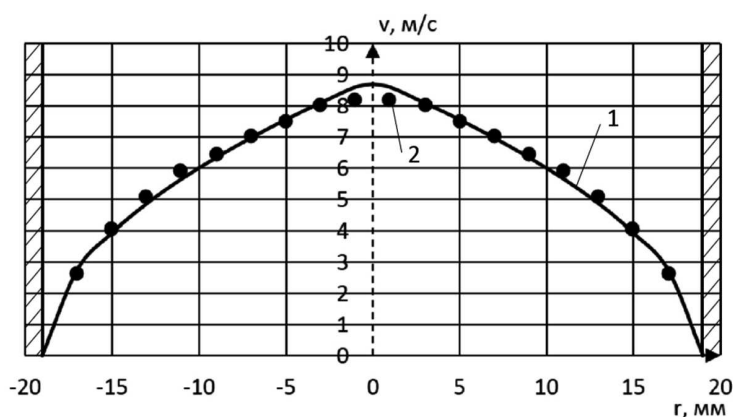
Дисперсия С-функции отклика определяется формулой:

$$\sigma^2 = \frac{2 \cdot v_s}{R^2} \int_0^1 \frac{r \cdot dr}{v} - 1. \quad (5)$$

Ниже приведены результаты расчетов по формулам (1) ÷ (5) для профиля скорости в трубе, описываемого степенной формулой:

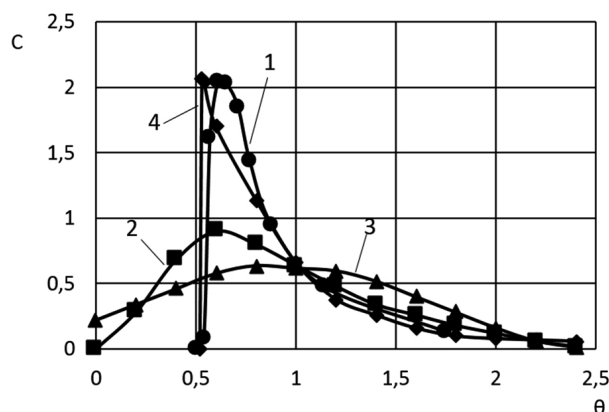
$$v = v_0 \cdot \left(1 - \frac{r}{R}\right)^n. \quad (6)$$

График профиля скорости приведен на рисунке 1, а результаты расчетов экспериментальной С-кривой отклика и моделирующих её функции представлены на рисунке 2. На рисунке 3 представлена интегральная F-кривая отклика для профиля скорости.

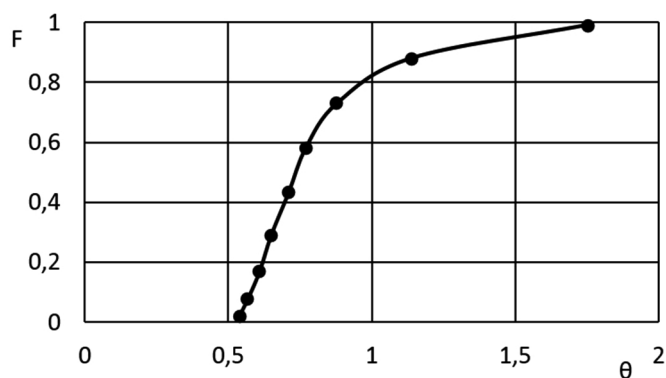


**Рисунок 1** – Профиль скорости движения газа в трубе с насадкой:  
1 – рассчитанный по уравнению; 2 – экспериментальные значения

Как видно из графиков рисунке 2 комбинированная модель последовательного соединения зон идеального вытеснения и смешения наилучшим образом описывает рассчитанную по уравнениям (1) и (6) профиль скорости в трубе.



**Рисунок 2** – С-кривые отклика для различных моделей движения:  
 1 – рассчитанная по профилю скорости с помощью (3);  
 2 – ячеечная модель при числе ячеек  $n = 3$ ; 3 – диффузионная модель;  
 4 – комбинированная модель зон вытеснения и смешения



**Рисунок 3** – F-кривая отклика рассчитанная по формуле (4)

#### Литература:

1. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов / пер. с англ. К.К. Кирдин и Ю.А. Соколинский. – М. : Химия, 1969. – 620 с.
2. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии : учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1985. – 448 с.

#### References:

1. Levenshpil O. Engineering design of chemical processes / trans. from English K.K. Kirdin and Yu.A. Sokolinsky. – M. : Chemistry, 1969. – 620 p.
2. Kafarov V.V. Methods of cybernetics in chemistry and chemical technology: a textbook for high schools. – 4th ed., Revised. and add. – M. : Chemistry, 1985. – 448 p.