

Черепанов Анатолий Петрович,

д.т.н., профессор, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: boning89@mail.ru

Ляпустин Павел Константинович,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: lpk62@mail.ru

Быргазов Павел Николаевич,

магистрант, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: byrgazov.1994_94@bk.ru

УПРОЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКА В ЗАЗОРЕ МЕЖДУ ПЛАСТИНАМИ

Cherepanov A.P., Lyapustin P.K., Byrgazov P.N.

A SIMPLIFIED MATHEMATICAL MODEL STUDIES FLOW IN THE GAP BETWEEN THE PLATES

Аннотация. Рассмотрена упрощенная математическая модель процесса движения потока в щелевом зазоре при его безотрывном течении между двумя близко расположенными пластинами с помощью рецептора, и подачей потока в зазор через центральное отверстие в одной из пластин. Такое исследование необходимо для изучения образования волнообразного течения потока в зазоре, которое вызывает пониженное (разрежение) и повышенное (выше атмосферного) давления в кольцевых зонах между близко расположенными пластинами. Для этого исследования применены рецепторы в виде струйных логических элементов с централизованным питанием. Предлагаемые исследования могут быть применены, например, при разработке различных устройств и процессов смешивания различных веществ или текучих сред.

Ключевые слова: давление, дроссель, зазор, пластина, поток, разрежение.

Abstract. A simplified mathematical model of the flow motion process in a slit gap with its continuous flow between two closely spaced plates by means of a receptor and the flow into the gap through the Central hole in one of the plates is considered. Such a study is necessary to study the formation of a wave-like flow in the gap, which causes low (rarefaction) and high (above atmospheric) pressure in the ring zones between closely spaced plates. For this study, receptors in the form of jet logic elements with a centralized power supply are used. The proposed studies can be applied, for example, in the development of various devices and processes for mixing different substances or fluids.

Keywords: pressure, throttle, clearance, plate, flow, vacuum.

Параметры потока при безотрывном течении в узком щелевом зазоре между двумя близко расположенными пластинами показаны в работах [1, 2], их исследования проводились для изучения процесса волнообразного движения потока в этом зазоре с помощью рецепторов [3, 4], выполненных в виде струйных логических элементов с централизованным питанием.

В настоящей работе предлагается установление взаимосвязи параметров потока в зазоре между близко расположенными пластинами и исследование волнообразного течения потока в этом зазоре путем определения наличия чередующихся волн повышенного (выше атмосферного) или пониженно-

го (разрежения) давления, по мере отдаления потока от центрального канала. Исследование этого процесса предлагается провести с помощью рецепторов с централизованным питанием.

Экспериментальная установка для исследования характера потока в зазоре между пластинами с помощью рецепторов показана на рисунке 1.

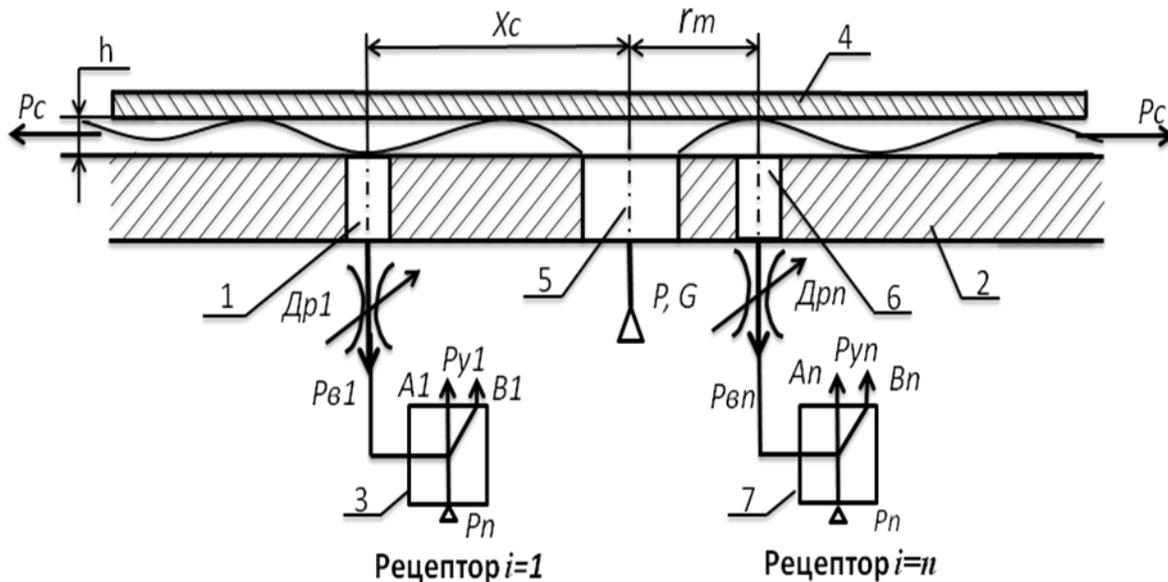


Рисунок 1 – Схема исследования характера потока в зазоре между пластинами

Установка содержит нижнюю 2 и верхнюю 4 пластины, установленные с зазором. Каждый рецептор, как отмечалось в работе [4], представляет собой распознающую ячейку, образованную приемным каналом 1, встроенным в нижнюю пластину 2 и подключенную к управляющему входу струйно-логического элемента (СЛЭ) 3. Аналогично устроены и другие рецепторы с распознающими ячейками, образованными приемными каналами 6, встроенными в нижнюю пластину 2 и подключенными к управляющим входам СЛЭ 7. Приемные каналы 1, 6, и так далее могут располагаться в виде матрицы на различных радиусах $r_{(1...m)}$ от канала питания 5. Количество рецепторов определяется количеством предполагаемых волн потока в зазоре и может быть выбрано, например, равным $i=1...n$. Верхняя пластина 4 расположена с зазором h относительно нижней пластины 2. Центральный канал питания 5 выполнен в центре нижней пластины 2. В качестве среды для исследования потока применен сжатый воздух. Давление потока P сжатого воздуха, подаваемое через канал питания 5, образует в зазоре h между пластинами 2 и 4 расходящийся поток. На различных расстояниях X_c в зазоре h наблюдается наличие чередующихся кольцевых волн повышенного или пониженного давления P_c . По мере отдаления потока от канала питания 5, как показано в работе [2] кольцевые волны давления и разрежения в

зазоре снижаются. За счет кольцевого расходящегося волнообразного течения потока давление P_c в зазоре h изменяется, соответственно и в приемных каналах рецепторов 1, 6, и так далее создается давление $P_{B(1...n)}$ выше или ниже атмосферного, достаточное для переключения СЛЭ от 1 до n и образования на их выходах $A_{(1...n)}$ или $B_{(1...n)}$ управляющих сигналов $P_{y(1...n)}$. Например, когда $X_c = r_1$ в зазоре h , присутствует волна давления P_{B1} , то в рецепторе $i=1$ управляющий сигнал P_{y1} появляется на выходе B_1 . Если в зазоре h присутствует волна разрежения, когда $X_c = r_m$, то управляющие сигналы P_{yn} появляются в рецепторах $i=n$ на выходе A_n . В промежуточных рецепторах матрицы также появляются соответствующие кольцевым волнам давления и разрежения управляющие сигналы $P_{y1}...P_{yn}$, которые затем подаются либо на индикаторы, показывающие присутствие давления или разрежения в соответствующей кольцевой волне, либо на другие регистрирующие эти волны устройства.

Как известно из [1, 3], на характер распределения потока в зазоре влияют следующие факторы: давление P , подаваемое через канал 5; величина зазора h ; размеры пластины; размеры каналов; неоднородность потока в зазоре и другие параметры применяемой среды. Поэтому, задачей экспериментальных исследований является определение длины волн X_c в зазоре h между пластинами 2 и 4, а также выходного давления за пределами пластины 4 P_c , и подтверждение того, что они будут зависеть от факторов, влияющих на характер распределения потока в зазоре и за его пределами.

Таким образом, по величине $P_{y(1...n)}$ управляющих сигналов множества рецепторов $i=1...n$ и по чередованию сигналов на их выходах $A_{(1...n)}$ или $B_{(1...n)}$ можно судить о наличии давления или разрежения в зазоре h между пластинами 2 и 4 на различных радиусах $r(1...m)$ от канала 5, а также о характере изменения потока в зазоре.

Рассмотрим структурную схему упрощенной математической модели исследования одного рецептора, которая показана на рисунке 2. Согласно рисунку 1 рецептор содержит, приемный канал (ПК) и СЛЭ. Питание ПК осуществляется давлением сжатого воздуха P , а питание СЛЭ - давлением P_n . На различных расстояниях X_c , которые соответствуют длине волны, находящейся в зоне приемного канала, будет происходить перераспределение потока на выходе приемных каналов числом от 1 до n , под воздействием давления или разрежения $P_{e1} ... P_{en}$, и соответствующих им на управляющих входах СЛЭ также числом от 1 до n . Предположим, что на каждом выходе СЛЭ появляется выходной сигнал (давление или разрежение), то его функциональные свойства можно определить зависимостью:

$$y = X \cdot K_x \quad (1)$$

где: y – выходной сигнал;

X – входное управляющие воздействие;

K_x – передаточный коэффициент рецептора, выраженный через управляющий сигнал.

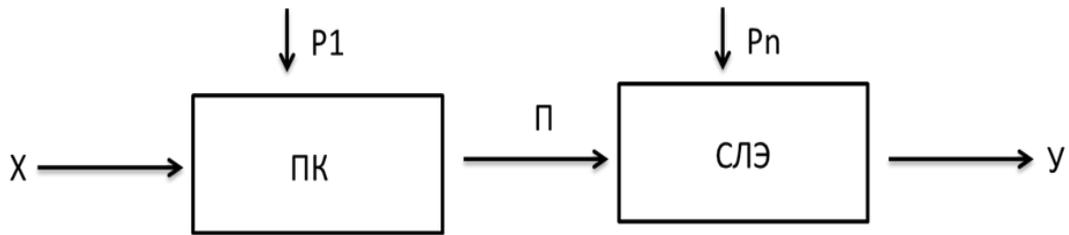


Рисунок 2 – Структурная схема упрощенной математической модели рецептора

Далее рассмотрим расчетную модель экспериментальной установки исследования характера потока в зазоре, которая показана на рисунке 3. Поскольку волнообразный поток в зазоре распределяется в кольцевых сечениях, то элементарное взаимодействие волны потока на поверхности пластины 2 с соответствующим приемным каналом рецептора, например, 1 (с общим их числом от 1 до n) можно представить в виде щелевого дросселирующего элемента с переменным проходным сечением. Количество дросселирующих элементов также будет составлять число от $Dr_1, Dr_2 \dots Dr_n$.

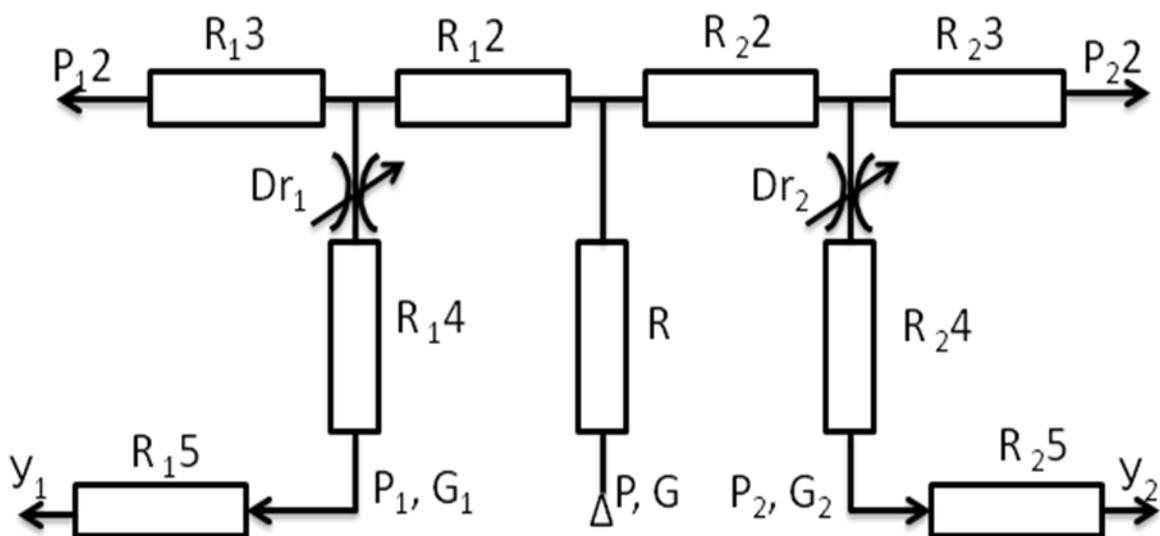


Рисунок 3 – Расчетная модель экспериментальной установки исследования характера потока в зазоре

Выразим величину суммарного сопротивления потоку в центральном канале питания через некоторые его составляющие потока. Поскольку достоверно определяемыми величинами являются давление P и расход G на входе цен-

трального канала питания 5, которые легко измерить, другие величины потока в зазоре расчетным путем определить сложно из-за множества неучтенных факторов, например, фасок в отверстиях каналов, шероховатости поверхностей, гидравлических сопротивлений и др.

На первом этапе исследований будем считать, что поток за центральным каналом питания равномерно расходится во всем зазоре, но при взаимодействии с приемными каналами, расположенными в виде матрицы он перестанет быть равномерно расходящимся из-за утечки части потока через приемные каналы. Это фактор на данном этапе также трудно определить расчетным путем, так как процесс распределения потока между ними не известен. Для упрощения возьмем только две симметрично расходящиеся элементарные струи, общее сопротивление которых представим, как сумму двух составляющих:

$$R = R_1 + R_2 \quad (2)$$

и составим для каждой из них обобщенные функциональные зависимости:

$$R_1 = f(R_{12} \cdot R_{13} \cdot R_{14} \cdot R_{15}) \text{ и } R_2 = f(R_{22} \cdot R_{23} \cdot R_{24} \cdot R_{25})$$

где: R_{12} и R_{22} – сопротивление, возникающие при повороте потока из центрального канала питания в зазор;

R_{13} и R_{23} – сопротивление при течении потока в зазоре h между рецептором и пластиной;

R_{14} и R_{24} – сопротивление приемных каналов ячеек;

R_{15} и R_{25} – сопротивление управляющих каналов СЛЭ.

Достоверные данные этих сопротивлений возможно получить только экспериментально, в связи с тем, что расчетным путем сложно определить каждую из составляющих величин сопротивления, следовательно, и величины (2), необходимые для определения полного сопротивления R .

Давление $P_{\text{в}}$ и расход $G_{\text{в}}$ на выходе приемного канала ячейки выразим функциями вида:

$$P_{\text{в}} = f(P, X_{c1}, r, h, d, R); \quad (3)$$

$$G_{\text{в}} = f(G, X_{c1}, r, h, d, R), \quad (4)$$

где: P, G – давление и массовый расход в приемном канале питания;

X_{c1} – расстояние от центрального канала питания, которое соответствует длине волны, находящейся в зоне приемного канала рецептора;

r – расстояние между центральным каналом питания и приемным каналом рецептора;

h – величина зазора между пластинами;

d – диаметр приемного канала рецептора;

R – величина общего суммарного сопротивления потоку.

В заключение можно сделать следующий вывод: предложена экспериментальная установка с применением рецепторов, которая дает возможность

составления плана многофакторного эксперимента, исследования характера потока в зазоре между пластинами и обработки результатов.

Разработана структурная схема упрощенной математической модели рецептора, показывающая пути определения входных, управляющих и выходных сигналов.

Разработан принцип проведения экспериментальных исследований характера распределения потока между пластинами. Который позволит определять характер распределения и образования волн давления или разрежения, в зазоре между двумя близко расположенными пластинами, а также определять величину шага и границ между ними.

Проведение экспериментального исследования позволит составить уравнения для определения расчетных величин параметров потока в зазоре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чупраков Ю.И. «Гидропривод и средства гидроавтоматики: Учебное пособие для вузов по специальности «Гидропривод гидроавтоматика». М. Машиностроение, 1979-232 с.

2. Патент Российской Федерации № 2657301, МПК В01D 3/14. Способ образования пульсаций газожидкостной смеси и устройство для его осуществления // Черепанов А.П. Заявитель: ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет». Опубл.: 19.06.2018 Бюл. № 17.

3. Черепанов А.П. Струйно-логические устройства автоматической ориентации плоских деталей при сборке. Автореферат кандидатской диссертации. ИПИ. Иркутск, 1993., 20 с.

4. Черепанов А.П., Ляпустин П.К., Быргазов П.Н. Исследование потока в зазоре между пластинами струйно-логическими элементами. // Современные технологии и научно-технич. прогресс. Междунар. научно-технич. конф. им проф. В.Я. Баденикова. Тезисы докл. Ангарск. ФГБОУ ВО АнГТУ. 2019. С 102-103.