

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНО-СТРУЙНОЙ ФОРСУНКИ НА РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ФАКЕЛЕ РАСПЫЛА

Ямилев М.З.

Научный руководитель – Туманова Е.Ю.

*г. Уфа, Уфимский государственный нефтяной технический университет*

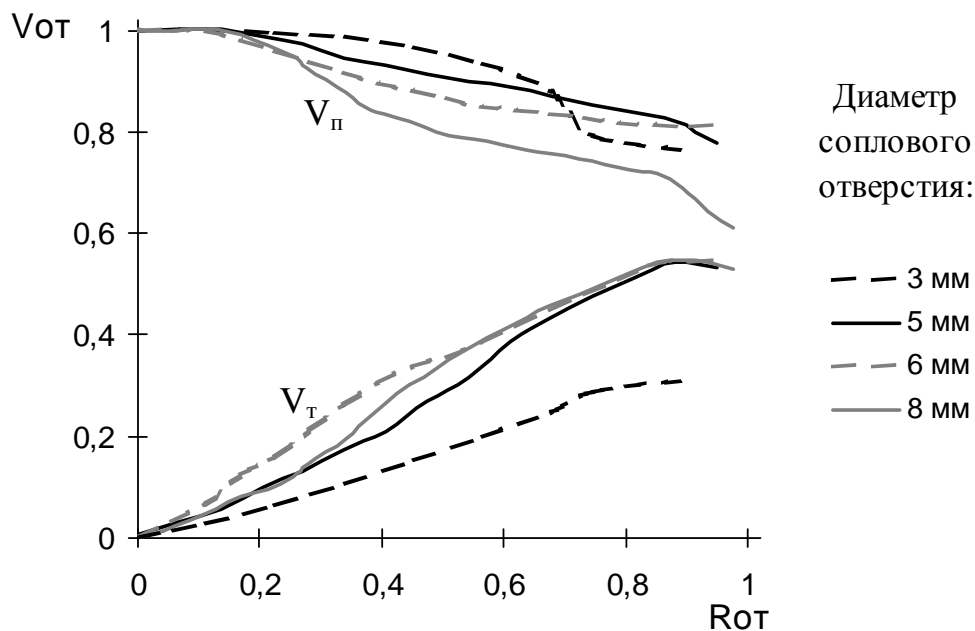
Центробежно-струйные форсунки являются одним из видов форсунок, позволяющих получить заполненный факел распыла. Среди них существуют две конструктивные группы: 1) форсунки с тангенциальным вводом периферийного потока; 2) форсунки с завихряющими вкладышами. Исследования форсунок данного вида, которые описаны в литературе, проводились для конструкций с цилиндрическим винтовым вкладышем, имеющим сквозное осевое отверстие, тогда как форсунки с тангенциальным вводом периферийного потока не рассматривались, но существуют рекомендации оптимального соотношения конструктивных размеров внутренних элементов. Диаметр осевого отверстия:  $d_o = 0,8 \cdot d_c$ ; диаметр тангенциальных отверстий:  $d_k = 0,8 \cdot d_c$ ; внутренний диаметр закручивающей камеры:  $D_{kc} = 4 \cdot d_c$ ; эксцентриситет закручивающих отверстий:  $t = 1,6 \cdot d_c$ .

В данной работе проведено численное исследование центробежно-струйной форсунки с тангенциальным вводом периферийного потока в камеру смешения. Для определения влияния геометрических размеров элементов конструкции на плотность орошения проведены опыты, в которых изменялись размеры тангенциальных отверстий, осевого канала, диаметр сопла, диаметр и высота камеры смешения. Порядковые номера экспериментов и размеры форсунок приведены в таблице 1. Форсунка с порядковым номером 0, имеет размеры рекомендованные выше.

Таблица 1 – Геометрические параметры моделей форсунок

| № п/п | Диаметр сопла, м | Размер перифер. каналов, м | Диаметр осевого отвер., м | Диаметр камеры смеш., м | Высота камеры смешения, м |
|-------|------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 0     | 0,005            | ∅ 0,004                    | 0,004                     | 0,020                   | 0,0095                    |
| 1     | 0,003            | ∅ 0,004                    | 0,004                     | 0,020                   | 0,0095                    |
| 2     | 0,006            | ∅ 0,004                    | 0,004                     | 0,020                   | 0,0095                    |
| 3     | 0,008            | ∅ 0,004                    | 0,004                     | 0,020                   | 0,0095                    |
| 4     | 0,005            | ∅ 0,002                    | 0,004                     | 0,020                   | 0,0095                    |
| 5     | 0,005            | ∅ 0,005                    | 0,004                     | 0,020                   | 0,0095                    |
| 6     | 0,005            | ∅ 0,006                    | 0,004                     | 0,020                   | 0,0095                    |
| 7     | 0,005            | ∅ 0,004                    | 0,002                     | 0,020                   | 0,0095                    |
| 8     | 0,005            | ∅ 0,004                    | 0,003                     | 0,020                   | 0,0095                    |
| 9     | 0,005            | ∅ 0,004                    | 0,004                     | 0,018                   | 0,0095                    |
| 10    | 0,005            | ∅ 0,004                    | 0,004                     | 0,015                   | 0,0095                    |
| 11    | 0,005            | ∅ 0,004                    | 0,004                     | 0,012                   | 0,0095                    |
| 12    | 0,005            | ∅ 0,005                    | 0,004                     | 0,015                   | 0,0095                    |
| 13    | 0,005            | ∅ 0,005                    | 0,004                     | 0,015                   | 0,0012                    |
| 14    | 0,005            | ∅ 0,005                    | 0,004                     | 0,015                   | 0,0015                    |

Влияние диаметра соплового отверстия выявлено по опытам номер 1, 2 и 3. В эксперименте диаметр соплового отверстия изменялся от 3 до 8 мм, значительного влияния на распределение скоростей в сопловом канале это не дало. Графики полной скорости для различных значений диаметра сопла приведены на рисунке 1. Для удобства сравнения графики приведены в относительных величинах.



$V_{\text{п}}$  – полная скорость,  $V_{\text{т}}$  – тангенциальная компонента скорости  
 Рисунок 1 – Графики полной скорости вдоль радиуса соплового отверстия

Из рисунка 1 видно, что характер распределения жидкости остается струйным. Эксперимент с моделью №1 показал более равномерное распределение скорости по сопловому каналу, но это не переход к центробежно-струйному распределению. В данном случае диаметр соплового канала меньше диаметра осевого канала, и практически всю площадь соплового канала занимает осевой поток. Для того, чтобы показать долю вращательной энергии в сопловом канале на рисунке 1 приведены также графики тангенциальной компоненты скорости вдоль радиуса соплового отверстия. В итоге, можно отметить, что диаметр соплового отверстия слабо влияет на равномерность распределения жидкости в факеле распыла.

Влияние диаметра тангенциальных каналов выявлено по опытам номер 4, 5 и 6. В эксперименте диаметр тангенциальных каналов изменялся от 2 до 6 мм. Графики полной скорости в относительных величинах приведены на рисунке 2.

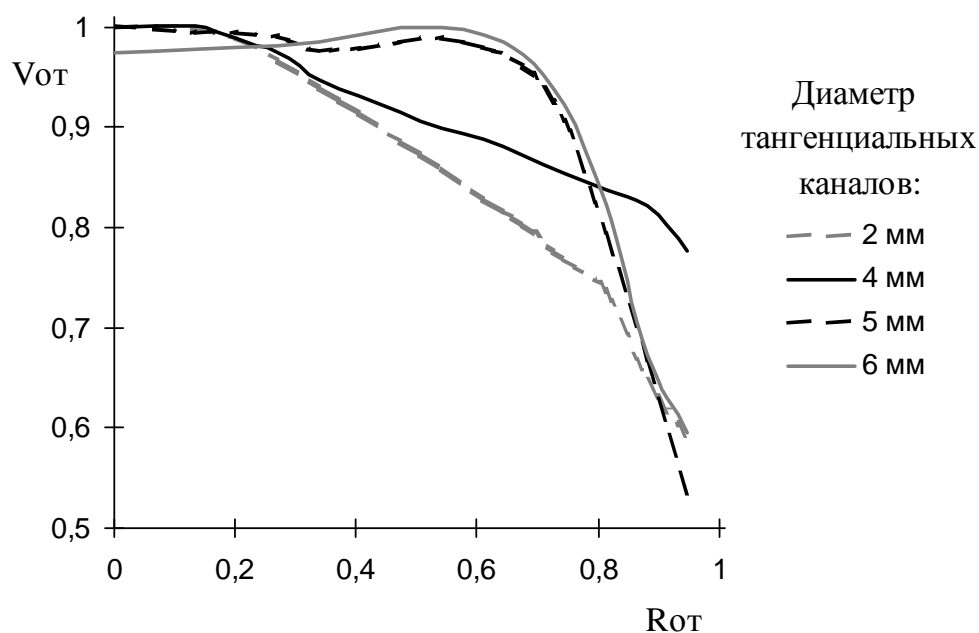


Рисунок 2 – Графики полной скорости вдоль радиуса соплового отверстия  
 Из рисунка 2 видно, что характер распределения жидкости переходит из струйного в центробежно-струйное, а затем в центробежное. Это связано с тем, что с увеличением диамет-

ра тангенциальных каналов увеличивается доля вращательной энергии вносимой в камеру смешения.

Влияние диаметра осевого отверстия выявлено по опытам номер 7, 8. В эксперименте диаметр осевого отверстия изменялся от 2 до 4 мм. Графики полной скорости в относительных величинах приведены на рисунке 3.

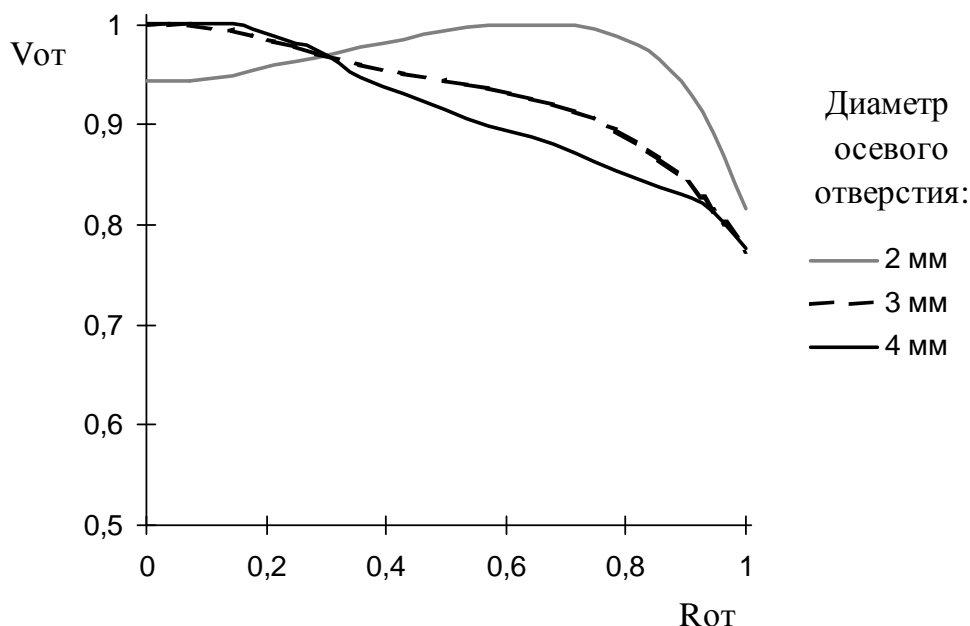
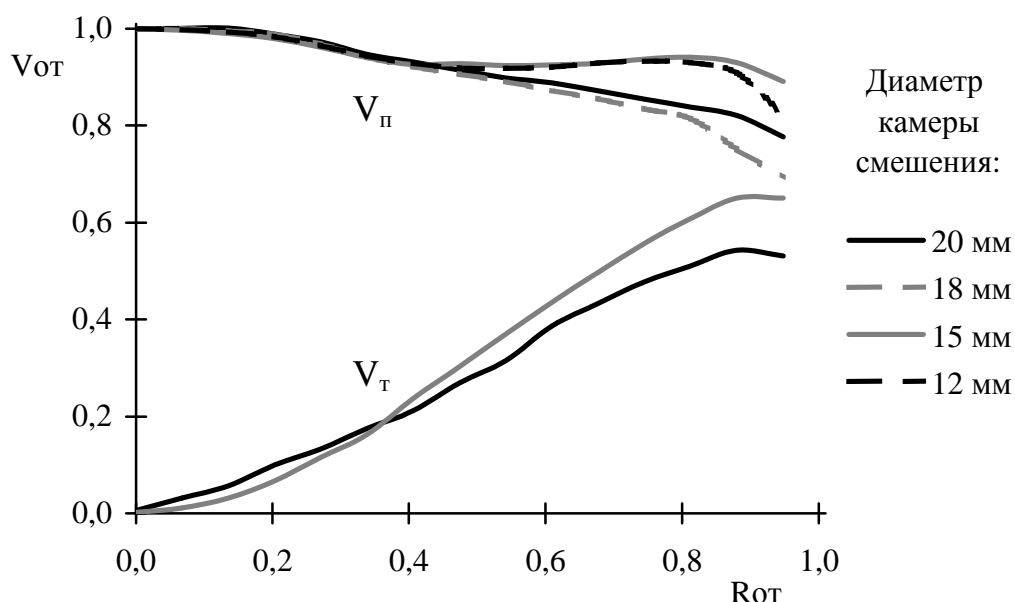


Рисунок 3 – Графики полной скорости вдоль радиуса соплового отверстия

Из рисунка 3 видно, что характер распределения жидкости переходит из центробежного в струйный. Это связано с тем, что с увеличением диаметра осевого отверстия увеличивается доля энергии осевого потока.

Влияние диаметра камеры смешения выявлено по опытам номер 9, 10, 11. В эксперименте диаметр камеры смешения изменялся от 20 до 12 мм. Графики полной скорости в относительных величинах приведены на рисунке 4.



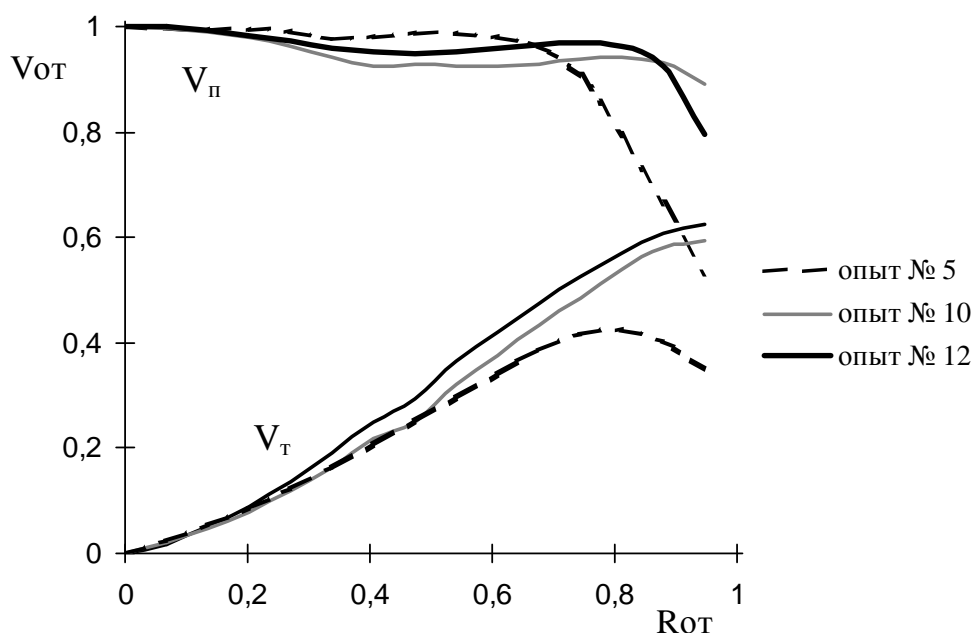
$V_{п}$  – полная скорость,  $V_{т}$  – тангенциальная компонента скорости

Рисунок 4 – Графики полной скорости вдоль радиуса соплового отверстия

Из рисунка 4 видно, что характер распределения жидкости переходит из струйного в центробежно-струйный. Это связано с тем, что с уменьшением диаметра камеры смешения периферийный поток быстрее начинает взаимодействовать с осевой струей, при этом перифе-

рийные слои осевого потока жидкости приобретают закрутку. Несмотря на то, что с уменьшением диаметра камеры смешения уменьшается эксцентриситет тангенциальных каналов и, как следствие, уменьшается момент закрученного потока, доля вращательной энергии в сопловом канале увеличивается. Это связано с тем, что при большем диаметре камеры смешения периферийные потоки жидкости вынуждены совершать большое число витков, прежде чем они дойдут до соплового канала, тем самым большая часть энергии закрутки терялась. С уменьшением диаметра камеры смешения потери энергии вращения уменьшаются. На рисунке 4 также приведены графики тангенциальной составляющей скорости, по которым видно, что с уменьшением диаметра камеры смешения тангенциальная составляющая скорости возрастает. Уменьшение диаметра камеры смешения менее 12мм не дает дальнейшего увеличения равномерности распределения скорости в факеле распыла, и считается не целесообразным ни технологически, ни конструктивно.

Учитывая рисунок 2, а именно график распределения скорости в сопловом отверстии при диаметре тангенциальных каналов 5 мм, был произведен опыт номер 12 (таблица 1). В данном эксперименте диаметр камеры смешения составил 15 мм, а диаметр тангенциальных каналов 5 мм, результат приведен на рисунке 5. Для сравнения на рисунке также приведены распределения полной скорости опытов номер 5 и 10.



$V_{п}$  – полная скорость,  $V_{т}$  – тангенциальная компонента скорости

Рисунок 5 – Графики полной скорости вдоль радиуса соплового отверстия

Из рисунка 5 видно, что уменьшение диаметра камеры смешения с 20 до 15 мм (опыты № 10 и 12) привело более равномерному распределению полной скорости вдоль всего радиуса соплового отверстия, а также к увеличению доли вращательной энергии в сопловом канале. Сравнивая опыты № 10 и 12 мы видим, что увеличение диаметра тангенциальных каналов также повышает равномерность распределения полной скорости и долю вращательной энергии в сопловом канале.

Влияние высоты камеры смешения выявлено по опытам номер 12, 13, 14. В эксперименте высота камеры смешения изменялся от 9,5 до 14 мм. Графики полной скорости в относительных величинах приведены на рисунке 6.

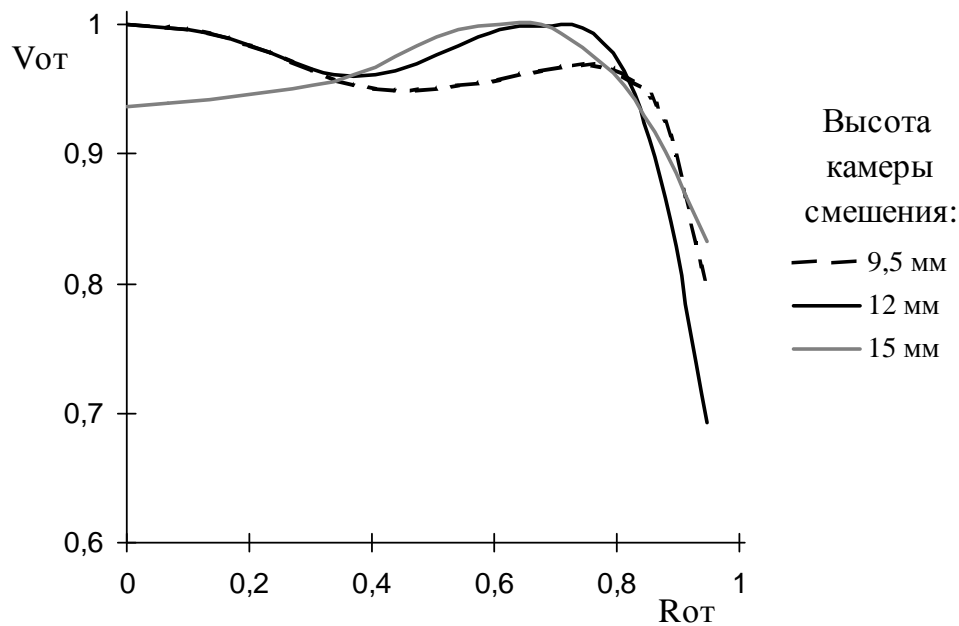


Рисунок 6 – Графики полной скорости вдоль радиуса соплового отверстия

Из рисунка 6 видно, что высота камеры смешения влияет на характер распределения жидкости в сопловом канале. Характер распыления изменялся от струйного до центробежно-го. На некоторой оптимальной высоте полная скорость на оси соплового отверстия и его периферии (второй пик) практически равны – это центробежно-струйной распыление. Такое изменение характера распределения объясняется тем, что с увеличением высоты камеры смешения длительность взаимодействия осевого и вращающегося потоков увеличивается, а, следовательно, все более глубокие слои осевого потока вовлекаются во вращение.

Высота камеры смешения не учитывалась ранее, но как показал эксперимент этот параметр влияет на характер распределения жидкости

В итоге, можно сказать, что рекомендованные ранее зависимости для определения оптимальных размеров основных элементов форсунки не эффективны. Исходя из проведенных исследований предлагаются новые соотношения конструктивных параметров центробежно-струйной форсунки с тангенциальным вводом периферийного потока. Сравнение ранее известных и предлагаемых зависимостей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение известных и предлагаемых оптимальных геометрических параметров форсунки

| № | Название конструктивного элемента     | Известное              | Предлагаемое                   |
|---|---------------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| 1 | Диаметр соплового отверстия           | $d_c$                  | $d_c$                          |
| 2 | Диаметр осевого отверстия             | $d_o = 0,8 \cdot d_c$  | $d_o = 0,8 \cdot d_c$          |
| 3 | Диаметр тангенциальных отверстий      | $d_T = 0,8 \cdot d_c$  | $d_T = 1,0 \cdot d_c$          |
| 4 | Внутренний диаметр камеры смешения    | $D_{кc} = 4 \cdot d_c$ | $D_{кc} = 3 \cdot d_c$         |
| 5 | Эксцентриситет тангенциальных каналов | $t = 1,6 \cdot d_c$    | $t = 0,5 \cdot (D_{кc} - d_T)$ |
| 6 | Высота камеры смешения                | –                      | $h = 2,2 \cdot d_c$            |

В таблице 2 приведены зависимости для определения размеров конструктивных элементов, влияющих на характер распределения жидкости в факеле распыла, через отношение к диаметру соплового канала. Диаметр соплового канала является основным конструктивным параметром, определяющим производительность и габариты форсунки.