

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ГИДРОДИНАМИКИ ЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ
В ПРОМЫВНОЙ ВАННЕ**

**RESEARCH OF LIQUID FLOWS IN A WASH BATH
BY THE METHOD OF COMPUTER SIMULATION**

М.А. БЕРЕГОВ, В.Б. КУЗНЕЦОВ
MA BEREGOV, VB KUZNETSOV

(Ивановская государственная текстильная академия,
Ивановский научно-исследовательский институт пленочных материалов
и искусственной кожи технического назначения)
(Ivanovo State Textile Academy,
Ivanovo Research Institute of Plastic Sheeting and Artificial Leather for Industrial Use)
E-mail: beregov@list.ru

Статья содержит результаты модельных экспериментов по исследованию зависимостей показателей турбулентности промывного раствора от геометрических характеристик ребристых роликов и технологических параметров процесса промывки.

The article contains the results of model experiments on research of dependences of the indexes of washing solution turbulence on geometric characteristics of ribbed rollers and technological parameters the washing process.

Ключевые слова: метод компьютерного моделирования, гидродинамика жидкостных потоков, промывная ванна, показатели турбулентности, ребристые ролики, число Рейнольдса.

Keywords: computer simulation, hydrodynamics of liquid flows, a wash bath, turbulence indicators, ribbed rollers, the Reynolds number.

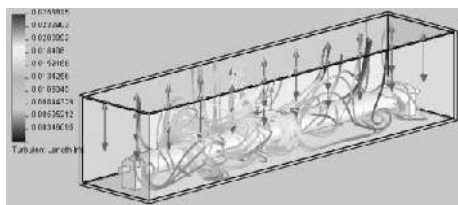
В данной работе сделана попытка с использованием методов компьютерного моделирования оценить влияние различных факторов на изменение гидродинамической обстановки и, в частности, на турбулентность потоков жидкости в объеме классической ванны. Этими факторами были: профиль ребра роликов (трапециевидный и трапециевидный скругленный с высотой 5, 7, 10 мм), длина роликов промывной ванны (1400, 1800, 2200 мм), температура промывной жидкости (20, 60, 90°C), а также скорость движения ткани в промывной ванне (60, 90, 120 м/мин).

Мы сравнивали стандартный гладкий ролик, ребристый с трапециевидным профилем ребра и ребристый с трапециевидным скругленным профилем ребра. Целью

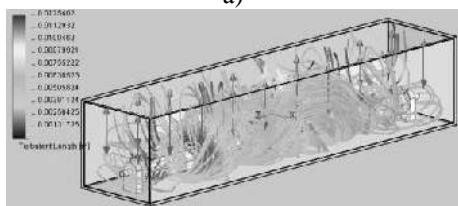
сравнения было доказательство того, что при вращении ребристых роликов вокруг них образуются более мощные турбулентные потоки жидкости по сравнению с гладкими.

В качестве показателей, характеризующих турбулентность, были выбраны интенсивность, энергия и длина турбулентности, а также динамическое давление вблизи ролика.

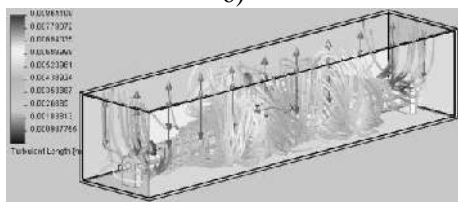
Первым фактором для исследования мы выбрали температуру промывного раствора (рис. 1 – распределение потоков жидкости при температуре 90°C: а – гладкий ролик; б – ролик с трапециевидным профилем ребра; в – ролик с трапециевидным скругленным профилем ребра).



а)



б)



в)

Рис. 1

Из рисунка видно, что вокруг ребристых роликов образуются более мощные турбулентные потоки жидкости по сравнению с гладким. С увеличением температуры от 20 – 90°C они распределяются более равномерно, по всей длине роликов, их плотность возрастает. Также повышается значение длины турбулентности. Это объ-

ясняется тем, что с увеличением температуры жидкости уменьшается ее вязкость [1]. Более интенсивные вихревые потоки образуются вокруг ролика с трапециевидным ребром.

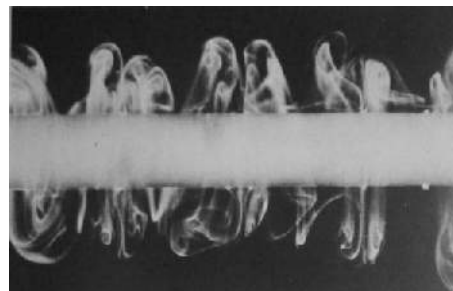


Рис. 2

Сравнение смоделированных вихревых потоков с реальными снимками вихрей жидкости [2], которые образуются в результате вращения цилиндра (рис. 2), показывает, что они имеют одинаковую структуру и еще раз подтверждает наличие турбулентности.

Численные значения показателей турбулентности представлены в табл.1 (влияние профиля ролика на показатели турбулентности жидкости при различных температурах).

Таблица 1

Показатель	Профиль ролика		
	гладкий ролик	ролик с трапециевидным ребром	ролик с трапециевидным скругленным ребром
	Температура 20°C		
Динамическое давление, Па	1059,849	20360,191	20884,393
Интенсивность турбулентности, %	52,748	996,578	998,742
Энергия турбулентности, Дж/кг	0,258	5,312	1,707
	Температура 60°C		
Динамическое давление, Па	960,659	20060,304	20567,671
Интенсивность турбулентности, %	58,174	996,568	998,743
Энергия турбулентности, Дж/кг	0,240	7,241	1,863
	Температура 90°C		
Динамическое давление, Па	929,074	19711,062	20211,686
Интенсивность турбулентности, %	49,029	996,541	998,741
Энергия турбулентности, Дж/кг	0,248	5,753	2,264

Анализируя данные таблицы, отмечаем, что гладкий ролик по всем показателям значительно уступает ребристым. По динамическому давлению ролик с трапециевидным ребром превосходит гладкий в 20 раз, по интенсивности турбулентности – в

18 раз, по энергии турбулентности – в 21 раз. Самое высокое динамическое давление и интенсивность турбулентности возникают вокруг ролика с трапециевидным скругленным ребром. Максимальная величина энергии турбулентности достигается

у ролика с трапециевидным ребром, особенно при 60°C. С увеличением температуры динамическое давление у каждого ролика понижается.

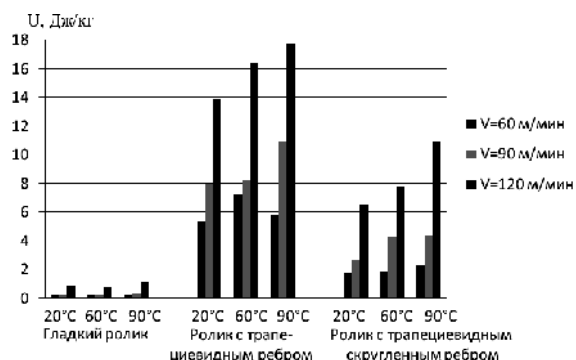


Рис. 3

На рис. 3 представлена зависимость энергии турбулентности от температуры промывной жидкости при различных скоростях движения ткани.

Видно, что с увеличением скорости движения ткани энергия турбулентности возрастает при каждой температуре. При скорости 90 м/мин ролик с трапециевидным ребром по энергии турбулентности

превосходит гладкий примерно в 31 раз, при скорости 120 м/мин – в 17 раз. Следовательно, при движении ткани со скоростью 90 м/мин ребристый ролик обладает большей эффективностью по энергии турбулентности по сравнению с гладким. Также значения энергии турбулентности ребристых роликов возрастают с повышением температуры. Главным является то, что с увеличением скорости движения ткани возрастание энергии турбулентности происходит быстрее, чем при увеличении температуры жидкости. И это наблюдается у всех роликов. Это говорит о том, что скорость движения ткани существенней влияет на турбулентность жидкости и, в частности, на энергию турбулентности. Из рис. 3 видно, что ролик с трапециевидным ребром по энергии турбулентности значительно превосходит все остальные ролики при любой температуре промывной жидкости.

В процессе данного эксперимента была найдена зависимость динамического давления от скорости движения ткани и температуры промывной жидкости (табл. 2).

Таблица 2

Динамическое давление (Па), при температуре промывной жидкости:	Профиль ролика		
	гладкий ролик	ролик с трапециевидным ребром	ролик с трапециевидным скругленным ребром
	V = 60 м/мин		
t = 20°C	1059,849	20360,191	20884,393
t = 60°C	960,659	20060,304	20567,671
t = 90°C	929,074	19711,062	20211,686
	V = 90 м/мин		
t = 20°C	1177,375	31812,845	32617,889
t = 60°C	928,943	31377,844	32136,896
t = 90°C	1124,335	30802,766	31582,386
	V = 120 м/мин		
t = 20°C	2058,028	56553,644	57986,403
t = 60°C	2786,773	55727,551	57131,738
t = 90°C	2420,713	54753,902	58499,829

Из данных табл. 2 видно, что с увеличением скорости движения ткани динамическое давление при каждой температуре возрастает. А с увеличением температуры жидкости у ребристых роликов понижается. Наибольшее значение динамического давления достигается у ролика с трапециевидным скругленным ребром.

При оценке влияния длины роликов на показатели турбулентности выявлено, что при различных длинах роликов гладкий ролик по энергии турбулентности также значительно уступает ребристым. Максимальное значение энергии турбулентности наблюдается у ролика с трапециевидным ребром при длине 1800 мм. У ролика с

трапециевидным скругленным ребром энергия снижается при увеличении длины. Таким образом, наиболее оптимальная длина, при которой энергия турбулентности максимальна, будет составлять для ролика с трапециевидным ребром 1800 мм, для ролика с трапециевидным скругленным ребром 1400 мм.

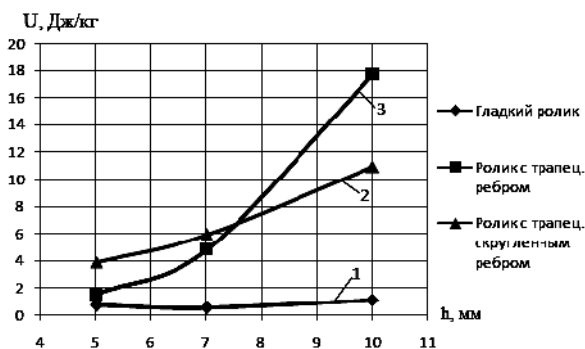


Рис. 4

На графиках рис. 4 представлена зависимость энергии турбулентности от высоты ребра роликов.

Анализ кривых показывает, что даже при малой высоте ребра профилированные ролики по энергии турбулентности значительно превосходят гладкий. С увеличением высоты ребра роликов энергия турбулентности увеличивается. Максимальные значения энергии турбулентности у ребристых роликов достигаются при высоте ребра 10 мм (особенно у ролика с трапециевидным ребром). Данная высота ребра будет самой оптимальной для обоих типов роликов.

Возрастание энергии турбулентности с увеличением высоты ребра роликов можно объяснить, сопоставив ребристый ролик с шероховатой внутренней поверхностью трубопровода. То есть, чем больше высота ребра роликов h , тем пристенный слой $\delta_{\text{вязк}}$ будет тоньше (особенно при большей скорости вращения ролика). Следовательно, будет больше Re и выше энергия турбулентности [3].

Для проверки полученных зависимостей энергии турбулентности от различных факторов мы рассчитали число Рейнольдса по высоте ребра роликов. Анализ

полученных значений критерия Рейнольдса показал, что во всех случаях наступает развитый турбулентный режим движения жидкости, так как $Re > 10^4$. С увеличением температуры промывной жидкости, скорости движения ткани и высоты ребра роликов критерий Рейнольдса возрастает.

Данные расчеты подтверждают ранее полученные зависимости, а именно, что турбулентность потоков жидкости будет выше при температуре промывной жидкости 90°C , скорости движения ткани 120 м/мин и высоте ребра роликов, равной 10 мм.

ВЫВОДЫ

1. Теоретический анализ и результаты модельных экспериментов показали, что использование ребристых промывных роликов по сравнению с гладкими приводит к существенному повышению турбулентности жидкости в промывной ванне, тем самым интенсифицируя процесс промывки.

2. Выявлено, что наиболее оптимальным является ролик длиной 1800 мм, с профилем ребра, представляющим собой трапецию высотой 10 мм, так как вокруг него образуются более интенсивные и мощные турбулентные потоки жидкости.

3. Показано, что при температуре промывной жидкости 90°C и скорости движения ткани 120 м/мин турбулентность потоков жидкости будет выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов В.И. и др. Влияние гидродинамической обстановки на процесс промывки ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1978, №1.
2. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа: Пер. с англ./ Сост. М. Ван-Дайк. – М.: Мир, 1986.
3. Шлипенко З.С. Насосы, компрессоры и вентиляторы: Учебник для вузов. – К.: Техника, 1976.

Рекомендована кафедрой системного анализа ИГТА. Поступила 30.11.11.