

Представлені результати розробки композиційного складу поверхнево-активних речовин для підготовки бавовняного трикотажного полотна на основі методу математичного планування експерименту – симплекс-решітчастого плану Шеффе другого порядку. Оптимізація математичних моделей «склад-властивості» проведена за змочуючою і миючою здатністю розробленої композиції. Отримана композиція поверхнево-активних речовин забезпечує отримання капілярності трикотажного матеріалу 180 мм за 60 хв. і збільшення ступеня фіксації активного барвника на 7,5 % при подальшому його фарбуванні

Ключові слова: трикотажне полотно, поверхнево-активні речовини, підготовка трикотажу, композиція поверхнево-активних речовин, план Шеффе

Представлены результаты разработки композиционного состава поверхностно-активных веществ для подготовки хлопчатобумажного трикотажного полотна на основе метода математического планирования эксперимента – симплекс-решетчатого плана Шеффе второго порядка. Оптимизация математических моделей «состав-свойства» проведена по смачивающей и моющей способности разработанной композиции. Полученная композиция поверхностно-активных веществ обеспечивает получение капиллярности трикотажного материала 180 мм за 60 мин. и увеличение степени фиксации активного красителя на 7,5 % при последующем его крашении

Ключевые слова: трикотажное полотно, поверхностно-активные вещества, подготовка трикотажу, композиция поверхностно-активных веществ, план Шеффе

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНО- АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА

Н. С. Скалозубова

Младший научный сотрудник*

E-mail: nataliia.skalozubova@gmail.com

А. Н. Куник

Кандидат технических наук,

младший научный сотрудник*

E-mail: culish.aleksa@yandex.ua

О. Я. Семешко

Кандидат технических наук, научный сотрудник*

E-mail: solgaya@gmail.com

Ю. Г. СарIBEKOBA

Доктор технических наук, главный научный сотрудник*

E-mail: ysaribekova@gmail.com

С. А. Мясников

Кандидат технических наук

Кафедра химических технологий, экспертизы и

безопасности пищевой продукции**

E-mail: 0504943835serg@gmail.com

*Научно-исследовательский сектор**

**Херсонский национальный технический университет

Бериславское шоссе, 24, г. Херсон, Украина, 73008

1. Введение

Трикотажная промышленность является крупнейшей отраслью мирового производства благодаря тому, что изделия из трикотажа обладают уникальными потребительскими свойствами.

Важными составляющими химико-технологического процесса подготовки трикотажного полотна являются текстильно-вспомогательные вещества (ТВВ), применение которых способствует удалению масел, жиров, воскообразных веществ и твердых загрязнений. Поэтому при подготовке текстильных материалов существует ряд значимых проблем: подбор эффективных и биологически расщепляемых поверхностно-активных веществ (ПАВ); снижение деструктивного воздействия белящих агентов и ТВВ; снижение объемов водопотребления и других видов материальных ресурсов; поиск новых, более эффективных способов

подготовки (биотехнология, обработка в среде низкотемпературной плазмы и другие) [1].

Однако ТВВ, применяемые на украинских трикотажных производствах, не всегда обеспечивают требуемое качество подготовки текстильного материала, что в дальнейшем негативно сказывается на качестве крашения. В настоящее время международные стандарты качества предъявляют высокие требования к текстильной продукции, что обусловлено необходимостью создания и применения новых экологически безопасных ТВВ для обеспечения современного уровня проведения технологических процессов, в частности при подготовке трикотажного полотна [2].

Повышение качества выпускаемой продукции в процессе предварительной подготовки трикотажных полотен связано с разработкой высокоэффективных технологий с использованием новых композиционных ТВВ на основе различных классов ПАВ [3, 4]. Необ-

ходимость создания таких препаратов обусловлена сложной физико-химической природой обрабатываемого материала и многостадийностью процессов его отделки. В состав таких композиций входят хорошо сочетающиеся друг с другом компоненты, которые либо действуют аддитивно или синергически на одной стадии процесса, либо активизируются на различных его стадиях.

Наиболее широко в операциях подготовки применяют ПАВ, обладающие целым комплексом свойств (моющие, диспергирующие, эмульгирующие, смачивающие, противозаломливающие).

Суровое полотно плохо смачивается в растворах, вследствие присутствия в волокнах гидрофобных естественных примесей и замасливающих веществ, что приводит к понижению капиллярности трикотажного полотна. Пониженная капиллярность текстильных материалов затрудняет беление, крашение, печатание и отделку этих материалов в водных растворах, а также вызывает дефекты при проведении этих процессов (пятна, неровноту окраски и др.).

Также качество подготовки текстильного материала в значительной степени влияет на результат его крашения, который должен иметь повышенную смачиваемость, капиллярность, способность к набуханию и восприимчивость молекул красителя.

Применяемые на трикотажных предприятиях Украины препараты для промывки трикотажных полотен характеризуются значительной стоимостью и нередко являются неэкологичными. Актуальность работы определяется необходимостью поиска и разработки новых эффективных и экономически выгодных композиционных препаратов ПАВ для подготовки трикотажных полотен [5–7].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

При производстве трикотажных полотен, с целью повышения стабильности работы вязальных машин, нити подвергают обработке замасливающими веществами. Удаление замасливателей, а также природных сопутствующих веществ хлопка (азотсодержащие, пектиновые, воскообразные вещества, сахара, зольные и красящие вещества) с трикотажных полотен в процессе подготовки представляет большие трудности.

Если технологические и природные загрязнения хлопчатобумажного трикотажа не будут удалены полностью или произойдет их ресорбция во время промывки, то это приведет к снижению его капиллярных свойств, а при последующем крашении к непрочности в местах осаждения загрязнений.

В исследованиях [8] были детально изучены свойства ПАВ, произведенные в Украине, и показаны особенности разработки композиционных ПАВ для обработки текстильных материалов [9]. В работах [10–12] была разработана композиция для подготовки целлюлозосодержащих тканей на основе эффективных эмульгаторов и смачивателей, способствующих удалению с поверхности хлопчатобумажного волокна восковых веществ и остатков кутикулярной пленки.

В работе [13] проведена оценка моющего действия трехкомпонентной смеси ПАВ, основанная на опре-

делении параметров моющего действия и предложена моющая композиция для очистки шерстяных изделий.

В работе [14] было показано, что бинарные смеси и сложные многокомпонентные системы на основе ПАВ обладают более высокой смачивающей и моющей способностью в сравнении с индивидуальными ПАВ, входящими в состав смесей.

Авторами [15] были подобраны оптимальные параметры для подготовки трикотажного полотна с применением ферментов: pH, температура, концентрация фермента.

Исследователями [16] экспериментально изучен синергизм различного сродства как индивидуальных, так и в смеси, ПАВ. Установлено, что смачивающие свойства смеси ПАВ выше, чем индивидуальных растворов ПАВ.

Смесь неионогенных ПАВ с анионными ПАВ были исследованы в работе [17]. Измерение поверхностного натяжения были использованы для нахождения значений ККМ и других параметров адсорбции. Установлено, что в смеси ПАВ увеличивается формирование цепи.

Авторами [18] были проведены исследования определения моющей способности в зависимости от строения неионогенных и анионоактивных ПАВ на текстильных материалах в неводной среде (перхлорэтилене). Установлено, что наилучшей моющей способностью обладают анионоактивные вещества (алкилсульфаты), которые значительно повышают моющую способность чистого растворителя; введение в углеводородные радикалы неионогенных гидрофильных групп сопровождается уменьшением моющей способности.

Анализ научно-технической информации свидетельствует об отсутствии в Украине целенаправленных и систематических исследований, касающихся разработки препаратов для промывки трикотажных полотен. Украинские трикотажные производства (ПАО «Трикотажная фабрика «Роза», г. Киев, ООО «Т-Стиль», г. Ровно) в процессе подготовки применяют моющие импортные препараты, что не всегда является экономично выгодным.

Учитывая непрерывный рост производства трикотажных полотен и изделий из них, в настоящее время перспективным является поиск и разработка новых композиций ПАВ и технологий подготовки, которые будут учитывать особенности строения трикотажа и проведения процессов его подготовки и смогут обеспечить повышение качества полученного сырья при экономичности технологий.

3. Цель исследования и задачи исследования

Цель данной работы состояла в разработке композиционного состава ПАВ для подготовки трикотажного полотна методом математического планирования эксперимента и изучении эффективности применения разработанной композиции в процессе промывки и влияния на последующее крашение трикотажа.

Для достижения цели в работе были поставлены следующие задачи:

- провести оптимизацию одиночных математических моделей «состав-свойство» согласно ряду выбранных исходных параметров оптимизации композиции;
- методом симплекс-решетчатого плана Шеффе второго порядка определить оптимальный состав композиции ПАВ для подготовки трикотажного полотна;

– определить капиллярность и крашиваемость трикотажного полотна, подготовленного с применением разработанной композиции ПАВ.

4. Материалы и методы исследования

Были использованы ПАВ различного функционального назначения и химического состава (табл. 1), а также хлопчатобумажное трикотажное полотно, артикул 1.170.(102)К.40.180 (95,2 % – хлопок, 4,8 % – лайкра) (ООО «Т-Стиль», г. Ровно, Украина).

Таблица 1
Характеристика исследуемых ПАВ

Обозначение	Класс ПАВ	Химический состав
ПАВ 1	Неионогенный	Соединение неионогенных ПАВ
ПАВ 2	Анионогенный/ Неионогенный	Жидкий препарат на основе сополимера полиэфира
ПАВ 3	Анионактивный	Состав из производных жирных спиртов с алканолом и модифицированных метилполисилоксанов
ПАВ 4	Неионогенный	Алкилдиметил-аминоксид

Определение смачивающей способности ПАВ проводилось методом погружения Дрейвза, который заключается в поочередном введении образцов трикотажных полотен в подготовленные водные растворы ПАВ с последующей фиксацией времени до полного их погружения [18].

Для определения моющей способности исследуемых ПАВ образцы трикотажного полотна взвешивались с точностью до 4-го знака. Затем образцы подвергались отварке в водных растворах исследуемых ПАВ (0,2–5 г/л) при $M=50$, $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин с последующей промывкой теплой водой и повторным определением массы.

Моющая способность ПАВ определялась по формуле:

$$X = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_1 – масса образца до отварки, г; m_2 – масса образца после отварки, г [19].

Для определения пенообразующей способности композиции ПАВ и устойчивости пены в градуированный цилиндр вместимостью 100 мл с притертой пробкой помещали 20 мл раствора концентрацией 5 г/л при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. После цилиндр с раствором энергично встряхивали в течение 10 с. Объем образовавшейся пены замерялся немедленно после встряхивания, а также через 5, 10, 30 и 60 мин [20].

Пенообразующая способность (П) и устойчивость пены за определенное время (Y) вычислялись по формулам:

$$П = \frac{V_1 \cdot 100}{V_0}, \quad (2)$$

$$Y = \frac{V_2 \cdot 100}{V_1}, \quad (3)$$

где V_1 – объем пены после встряхивания, мл; V_0 – начальный объем раствора, мл; V_2 – объем пены по истечении определенного времени после встряхивания, мл [20].

Поверхностное натяжение растворов определялось методом отрыва кольца (метод дю-Нуи), который основан на определении силы, необходимой для отрыва жидкости, смачивающей кольцо радиуса R, от поверхности жидкости. Сила, необходимая для отрыва кольца, определялась при помощи весов дю-Нуи по формуле:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{H_2O} \cdot \phi_x}{\phi_{H_2O}}, \quad (4)$$

где ϕ_x , ϕ_{H_2O} – сила отрыва кольца от дистиллированной воды и от исследуемого раствора; σ_{H_2O} – поверхностное натяжение дистиллированной воды [21–23].

Определение капиллярности сурового и подготовленного трикотажных полотен проводили согласно ГОСТ 3816-81 «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств».

Крашение подготовленного полотна проводили периодическим способом при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, в течение 170 мин с применением бифункционального активного красителя Auxicolor Red ARD 2B («Auxicolor», Испания).

Определение степени фиксации красителя осуществляли на основании спектрофотометрического анализа исходного красильного раствора, остаточного после крашения раствора и промывных ванн. Степень фиксации СФ, %, вычисляли по формуле [24]:

$$СФ = 100 - \frac{D_{ост} + \sum D_{пр}}{D_{исх}} \cdot 100, \quad (5)$$

где $D_{ост}$ – оптическая плотность остаточного после крашения раствора; $D_{пр}$ – оптическая плотность промывного раствора; $D_{исх}$ – оптическая плотность исходного красильного раствора.

Оптимальный состав композиции ПАВ определялся с помощью симплекс-решетчатого плана Шеффе второго порядка [25, 26].

5. Разработка композиции ПАВ для подготовки трикотажного полотна методом математического планирования

В ранее проведенной работе [27] были определены моющая и смачивающая способности различных классов ПАВ, на основании этого выбраны препараты, обеспечивающие оптимальные капиллярные свойства при подготовке трикотажного полотна. Установлено, что наилучшей моющей способностью обладают неионогенные, анионактивные ПАВ, а смачивающей – неионогенные.

Для создания эффективной моющей композиции необходимо установить их оптимальное соотношение. Обычно состав композиций подбирается эмпирическим путем на основе результатов пробных промывок или удаления того загрязнения, для отмывания которого создается данное средство.

Наиболее перспективным для разработки многокомпонентных составов считается использование методов математического планирования эксперимента, которые позволяют значительно сократить объем эксперимента, исключают необходимость в пространственном представлении сложных поверхностей, т. к. свойства композиций можно представить в виде уравнений.

В настоящее время для оптимизации расчета составов композиций на основе математической модели «состав-свойство» наибольшее применение получили симплекс-решетчатые планы, предложенные Шеффе [28].

При изучении свойств смеси, зависящих только от соотношений компонентов, факторное пространство представляет собой правильный $(q-1)$ – мерный симплекс. Для таких систем выполняется соотношение:

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1, \quad (6)$$

где $x_i \geq 0$ – концентрация компонента; q – количество компонентов.

Планы Шеффе обеспечивают равномерный разброс экспериментальных точек по $(q-1)$ -мерному симплексу. Экспериментальные точки представляют $\{q, n\}$ -решетку на симплексе, где n – степень полинома.

Так как разрабатываемая композиция будет состоять из четырех компонентов ($q=4$), то правильный симплекс будет представлять тетраэдр, каждая вершина которого соответствует чистым компонентам. Каждое ребро тетраэдра представляет собой двухкомпонентную систему, а грань – трехкомпонентную. Каждая точка внутри тетраэдра соответствует четырехкомпонентной системе (рис. 1).

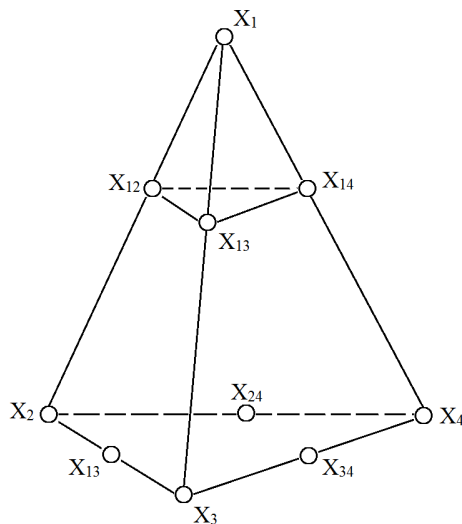


Рис. 1. Правильный симплекс – тетраэдр четырехкомпонентной системы

Так, компонент x_1 отсутствует на грани x_2, x_3 и x_4 , а по сечениям тетраэдра, приближающимся к вершине x_1 , содержание компонента x_1 увеличивается.

Графически такую систему представляют в виде сечений тетраэдра плоскостями, перпендикулярными одной из осей. Состав четырехкомпонентной смеси, лежащий в плоскости сечения, определяется уже двумерной плоскостью, что позволяет представлять изменение свойств системы в виде контурных кривых.

Скорость изменения свойств многокомпонентного состава характеризуют наклоном величины ожидаемого отклика для i -го компонента в точке x_i :

$$\frac{\partial v}{\partial x_i} = b_0 + b_i x_i, \quad (7)$$

где

$$b_0 = \frac{1}{q-1} \left[q\beta_i - \sum_{i=1}^q \beta_i + \sum_{i=1}^{i-1} \beta_{li} + \sum_{j=i+1}^q \beta_{ij} - 2 \sum_{j(k,k \neq i)} \frac{\beta_{jk}}{q-1} \right], \quad (8)$$

$$b_i = \frac{2}{q-1} \left[\sum_{j(k,k \neq i)} \frac{\beta_{jk}}{q-1} - \sum_{i=1}^q \beta_{li} - \sum_{j=i+1}^q \beta_{ij} \right]. \quad (9)$$

Для q -компонентного состава выражение (6) соответствует градиенту $(q-1)$ -ой поверхности по оси i -го компонента [25].

Исследования проводили на локальной области факторного пространства, которая была ограничена сверху и снизу границами концентраций:

$$\begin{aligned} 0,02 \leq x_1 (\text{ПАВ1}) \leq 0,5; \\ 0,02 \leq x_2 (\text{ПАВ2}) \leq 0,5; \\ 0,02 \leq x_3 (\text{ПАВ3}) \leq 0,1; \\ 0,02 \leq x_4 (\text{ПАВ4}) \leq 0,35. \end{aligned} \quad (10)$$

То есть, область исследования представляла собой многоугольник с восемью вершинами и сторонами, который был приведен к симплексу с числом вершин $m-n=q$. Поскольку симплекс-исследование мало по сравнению со всей областью исследования, то необходимо сделать переход от компонентов x_i к псевдокомпонентам z_i .

Симплекс-решетчатый план Шеффе второго порядка для четырехкомпонентного состава представлен в табл. 2.

Таблица 2

Симплекс-решетчатый план Шеффе второго порядка для четырехкомпонентного состава

№ опыта	z_1	z_2	z_3	z_4	x_1	x_2	x_3	x_4
1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,500	0,130	0,020	0,350
2	0,00	1,00	0,00	0,00	0,050	0,500	0,100	0,350
3	0,00	0,00	1,00	0,00	0,500	0,460	0,020	0,020
4	0,00	0,00	0,00	1,00	0,500	0,050	0,100	0,350
5	0,50	0,50	0,00	0,00	0,275	0,315	0,060	0,350
6	0,50	0,00	0,50	0,00	0,500	0,275	0,020	0,185
7	0,50	0,00	0,00	0,50	0,500	0,090	0,060	0,350
8	0,00	0,50	0,50	0,00	0,275	0,480	0,060	0,185
9	0,00	0,50	0,00	0,50	0,275	0,275	0,100	0,350
10	0,00	0,00	0,50	0,50	0,500	0,255	0,060	0,185
11	0,25	0,25	0,25	0,25	0,388	0,285	0,060	0,268

Свойства состава композиции оценивали согласно ряду исходных параметров Y_i :

- время смачивания ПАВ трикотажного полотна, с;
- моющая способность ПАВ трикотажного полотна, %;
- поверхностное натяжение ПАВ, мН/м;
- пенообразующая способность ПАВ, %;
- устойчивость пены ПАВ, %.

Каждый опыт был повторен дважды. Результаты исследования в виде средних значений исходных параметров представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значение исходных параметров согласно симплекс-решетчатого плана Шеффе второго порядка для четырехкомпонентного состава

№ опыта	$T_{\text{смач.}}$, с	$T_{\text{моющ.}}$, %	σ , мН/м	П, %	У, %
1	242,0	0,73	45,1	120	83,3
2	874,0	0,85	47,6	180	61,1
3	143,5	0,95	50,9	230	73,9
4	102,5	0,52	47,9	150	66,7
5	179,5	0,15	49,9	100	100,0
6	917,0	0,34	52,2	100	100,0
7	598,0	0,67	47,9	100	100,0
8	407	0,37	47,8	100	100,0
9	202,5	0,57	47,3	100	100,0
10	328,5	0,64	51,7	150	66,7
11	132,5	0,47	49,1	180	61,1

Модель зависимости времени смачивания трикотажного полотна от состава композиции:

$$T_{\text{смач.}} = 242,0z_1 + 874,0z_2 + 143,5z_3 + 102,5z_4 - 1514,0z_1z_2 + 2897,0z_1z_3 + 1703,0z_1z_4 - 407,0z_2z_3 - 1143,0z_2z_4 + 822,0z_3z_4. \quad (11)$$

Модель зависимости моющей способности от состава композиции:

$$T_{\text{моющ.}} = 0,73z_1 + 0,85z_2 + 0,95z_3 + 0,52z_4 - 2,56z_1z_2 + 2,00z_1z_3 + 0,18z_1z_4 - 2,12z_2z_3 - 0,46z_2z_4 - 0,38z_3z_4. \quad (12)$$

Модель зависимости поверхностного натяжения от состава композиции:

$$\sigma = 45,1z_1 + 47,6z_2 + 50,9z_3 + 47,9z_4 + 14,4z_1z_2 + 16,8z_1z_3 + 5,7z_1z_4 - 5,9z_2z_3 - 1,7z_2z_4 + 9,5z_3z_4. \quad (13)$$

Модель зависимости пенообразующей способности от состава композиции:

$$П = 120,0z_1 + 180,0z_2 + 230,0z_3 + 150,0z_4 - 200,0z_1z_2 - 300,0z_1z_3 - 140,0z_1z_4 - 420,0z_2z_3 - 260,0z_2z_4 - 160,0z_3z_4. \quad (14)$$

Модель зависимости устойчивости пены от состава композиции:

$$У = 83,3z_1 + 61,1z_2 + 73,9z_3 + 66,7z_4 + 111,1z_1z_2 + 85,5z_1z_3 + 100,0z_1z_4 + 130,0z_2z_3 + 144,5z_2z_4 - 14,4z_3z_4. \quad (15)$$

Наличие математических моделей позволяет всесторонне исследовать изучаемый объект или процесс, а именно: проводить интерполяцию или экстраполяцию данных, то есть прогнозировать результаты, проводить ранжирование факторов по степени их влияния, осуществлять оптимизацию – находить наилучшие варианты с точки зрения поставленных целей. В подавляющих случаях математические модели используют для оптимизации.

Изучаемый процесс обработки трикотажного полотна характеризуется тем, что для полной характеристики композиции ПАВ необходимо иметь ряд математических моделей, которые характеризуют композицию по нескольким выходным параметрам (критериям оптимизации) в комплексе.

Определение оптимального состава композиции сводится к оптимизации системы математических моделей, каждая из которых описывает выбранные свойства композиций. В данном случае задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом: найти в области допустимых значений факторов Ω те значения, для которых выходные параметры принимают минимальные или максимальные значения. Выходные параметры оцениваются скалярными критериями оптимизации, которые образуют вектор эффективности: $\bar{Y} = T_{\text{смач.}}, T_{\text{моющ.}}, \sigma, П, У$ и связаны через факторы с обобщенным критерием оптимизации зависимостью $Y = F(z_1, z_2, z_3, z_4)$. Это выражение представляет собой систему математических уравнений, которую необходимо оптимизировать при ограничениях на факторы $0 \leq z_i \leq 1$.

Систему уравнений можно представить следующим образом:

$$Y = \begin{cases} T_{\text{смач.}} \rightarrow \min, \\ T_{\text{моющ.}} \rightarrow \max, \\ \sigma \rightarrow \min, \\ П \rightarrow \text{const}, \\ У \rightarrow \text{const}. \end{cases} \quad (16)$$

Как показывают расчеты, для полученной модели «состав-свойства» совместное решение системы (16) отсутствует. Следовательно, для нахождения оптимальных результатов систему (16) необходимо несколько изменить.

Для получения достоверных данных по оптимизации состава композиции ПАВ необходимо проводить оптимизацию одиночных моделей «состав-свойства».

С точки зрения обработки текстильного материала в водных растворах ПАВ пенообразование и устойчивость пены влияют на эффективность процесса не более 10 % [28].

Для эффективного проведения процесса обработки текстильных материалов в водных растворах ПАВ их поверхностное натяжение должно быть меньше поверхностного натяжения воды на 20 единиц и составлять около 52 мН/м.

Результаты, представленные в табл. 3, показывают, что значения поверхностного натяжения композиций изменяются в диапазоне от 45 до 52 мН/м. Следовательно, эти модели можно исключить из оптимизации.

Поэтому с целью определения оптимального состава композиции целесообразно провести оптимизацию

моделей «состав-свойства» по смачивающей и моющей способностям.

Для смачивающей способности необходимо определить оптимальный состав композиции при минимальных значениях времени смачивания:

$$T_{\text{смач.}} \rightarrow \min, 0 \leq z_i \leq 1. \quad (17)$$

Для моющей способности необходимо определить оптимальный состав композиции при максимальном значении степени удаления загрязнения:

$$T_{\text{моющ.}} \rightarrow \max, 0 \leq z_i \leq 1. \quad (18)$$

Результаты оптимизации представлены в табл. 4.

Таблица 4

Оптимизация математических моделей «состав-свойство», характеризующих смачивающую и моющую способность композиции

	z_1	z_2	z_3	z_4	$Y_{\text{опт}}$
Предлагаемая композиция	Математическая модель смачивающей способности				
	0,0128	0,3474	0,1541	0,3586	130
	Математическая модель моющей способности				
	0,0117	0,3561	0,1413	0,3517	0,98

В табл. 4 значения z_i представлены в виде псевдокомпонентов, значения которых развернуты на всю диаграмму «состав-свойства», а не на локальном участке, то есть они изменяются в пределах от нуля до единицы. Для нахождения натуральных значений долей компонентов x_i на локальном участке в композициях можно использовать формулы связи между натуральными переменными и псевдокомпонентами.

Формулы для перевода из одной аффинной системы в другую:

$$z_1 = z_1^{(1)} + x_2(z_1^{(2)} - z_1^{(1)}) + x_3(z_1^{(3)} - z_1^{(1)}) + \dots + x_q(z_1^{(q)} - z_1^{(1)}), \quad (19)$$

$$z_2 = z_2^{(1)} + x_2(z_2^{(2)} - z_2^{(1)}) + x_3(z_2^{(3)} - z_2^{(1)}) + \dots + x_q(z_2^{(q)} - z_2^{(1)}), \quad (20)$$

.....

$$z_{q-1} = z_{q-1}^{(1)} + x_2(z_{q-1}^{(2)} - z_{q-1}^{(1)}) + x_3(z_{q-1}^{(3)} - z_{q-1}^{(1)}) + \dots + x_q(z_{q-1}^{(q)} - z_{q-1}^{(1)}), \quad (21)$$

где значения $z_i^{(j)}$ находят при решении $(q-1)$ системы уравнений при использовании долей компонентов из системы (10).

Для композиции:

$$\begin{aligned} 0,50Z_1^{(1)} + 0,13Z_1^{(2)} + 0,02Z_1^{(3)} + 0,46Z_1^{(4)} &= 1; \\ 0,05Z_1^{(1)} + 0,50Z_1^{(2)} + 0,10Z_1^{(3)} + 0,35Z_1^{(4)} &= 0; \\ 0,50Z_1^{(1)} + 0,46Z_1^{(2)} + 0,02Z_1^{(3)} + 0,02Z_1^{(4)} &= 0; \\ 0,50Z_1^{(1)} + 0,05Z_1^{(2)} + 0,10Z_1^{(3)} + 0,35Z_1^{(4)} &= 0; \end{aligned} \quad (22)$$

$$0,50Z_2^{(1)} + 0,13Z_2^{(2)} + 0,02Z_2^{(3)} + 0,46Z_2^{(4)} = 0;$$

$$0,05Z_2^{(1)} + 0,50Z_2^{(2)} + 0,10Z_2^{(3)} + 0,35Z_2^{(4)} = 1;$$

$$0,50Z_2^{(1)} + 0,46Z_2^{(2)} + 0,02Z_2^{(3)} + 0,02Z_2^{(4)} = 0;$$

$$0,50Z_2^{(1)} + 0,05Z_2^{(2)} + 0,10Z_2^{(3)} + 0,35Z_2^{(4)} = 0; \quad (23)$$

$$0,50Z_3^{(1)} + 0,13Z_3^{(2)} + 0,02Z_3^{(3)} + 0,46Z_3^{(4)} = 0;$$

$$0,05Z_3^{(1)} + 0,50Z_3^{(2)} + 0,10Z_3^{(3)} + 0,35Z_3^{(4)} = 0;$$

$$0,50Z_3^{(1)} + 0,46Z_3^{(2)} + 0,02Z_3^{(3)} + 0,02Z_3^{(4)} = 1;$$

$$0,50Z_3^{(1)} + 0,05Z_3^{(2)} + 0,10Z_3^{(3)} + 0,35Z_3^{(4)} = 0. \quad (24)$$

Численные значения $z_i^{(j)}$ для композиции представлены в табл. 5.

Таблица 5

Значения $z_i^{(j)}$ при решении системы (22)–(24)

$z_1^{(1)}$	–0,019	$z_2^{(1)}$	–1,092	$z_3^{(1)}$	1,078
$z_1^{(2)}$	–0,019	$z_2^{(2)}$	1,129	$z_3^{(2)}$	1,078
$z_1^{(3)}$	1,221	$z_2^{(3)}$	–0,110	$z_3^{(3)}$	–0,105
$z_1^{(4)}$	–0,319	$z_2^{(4)}$	1,431	$z_3^{(4)}$	–1,665

Далее для математической модели (табл. 5) можно записать уравнения связи между натуральными значениями долей компонентов и их псевдокомпонентами и рассчитать оптимальные значения натуральных долей в композициях, например, для модели смачивания:

$$\begin{aligned} -1,019 + x_2(-0,019 + 0,019) + \\ + x_3(1,221 + 0,019) + x_4(-0,319 + 0,019) &= 0,0128; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -1,092 + x_2(1,129 + 1,092) + \\ + x_3(-0,110 + 1,092) + x_4(1,431 + 1,092) &= 0,3472; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -1,078 + x_2(1,078 - 1,078) + \\ + x_3(-0,105 + 1,078) + x_4(-1,665 + 1,078) &= 0,1541. \quad (25) \end{aligned}$$

Решение системы (25) дает: $x_2=0,270$; $x_3=0,097$; $x_4=0,295$.

Значение x_1 определяем из условия: $x_1=1-x_2-x_3-x_4$, $x_1=0,342$.

В результате вычислений получены оптимальные значения натуральных компонентов при оптимизации модели смачивания для композиции ПАВ: $x_1=0,342$; $x_2=0,270$; $x_3=0,097$; $x_4=0,295$.

Оптимальные значения натуральных компонентов для моделей смачивающей и моющей способностей представлены в табл. 6.

Таблица 6

Значения натуральных компонентов в композиции при оптимизации модели «состав-свойства»

	x_1	x_2	x_3	x_4	$Y_{\text{опт}}$
Предлагаемая композиция	Математическая модель смачивающей способности				
	0,342	0,270	0,097	0,295	130
	Математическая модель моющей способности				
	0,338	0,280	0,092	0,290	0,98

Из табл. 6 можно выделить оптимальный состав для предлагаемой композиции в массовых долях:

x_1 – от 0,338 до 0,342;

x_2 – от 0,270 до 0,280;

x_3 – от 0,092 до 0,097;

x_4 – от 0,290 до 0,295.

При составлении композиции нужно придерживаться условий формулы (6): сумма долей компонентов должна быть равна единице.

На основе вышеприведенных составов можно проектировать разные составы. Например, можно предложить следующий состав (в массовых долях):

x_1 – 0,340;

x_2 – 0,275;

x_3 – 0,095;

x_4 – 0,290.

После перехода к именованным величинам получаем оптимальный состав композиции ПАВ (г/л): ПАВ1=3,40; ПАВ2=2,75; ПАВ3=0,95; ПАВ4=2,90.

Применение данной композиции обеспечивает максимальные показатели смачивающей (130 с) и моющей способности (0,98 %).

6. Исследование влияния разработанной композиции ПАВ на капиллярность трикотажного полотна и его окрашиваемость

Для исследования влияния разработанной композиции на качество подготовки трикотажа было проведено исследование капиллярности трикотажного полотна, подготовленного с применением разработанной композиции (предлагаемый режим) в концентрации от 0,5 до 2 г/л и по режиму предприятия (базовый режим) (рис. 2).

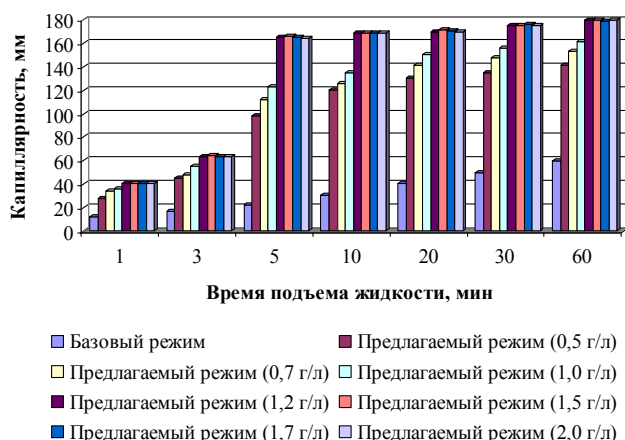


Рис. 2. Исследование капиллярных свойств трикотажного полотна, подготовленного по базовому и предлагаемому режиму

Результаты, представленные на рис. 2 свидетельствуют о том, что применение разработанной композиции ПАВ обеспечивает достижение высоких показателей капиллярности трикотажного полотна. Так, максимальная капиллярность трикотажа, подготовленного по базовому режиму, составляет 60 мм. У текстильного материала, промытого с применением разработанной композиции ПАВ, капиллярность 60 мм достигается

за 3 мин, а максимальная составляет 180 мм (при концентрации разработанной композиции ПАВ от 1,2 до 2,0 г/л).

Далее было определено влияние режима подготовки трикотажного полотна на его окрашиваемость активным красителем. На рис. 3 представлены результаты определения степени фиксации активного красителя Auxicolor Red ARD 2B трикотажного полотна, подготовленного по базовому и разработанному режимам.

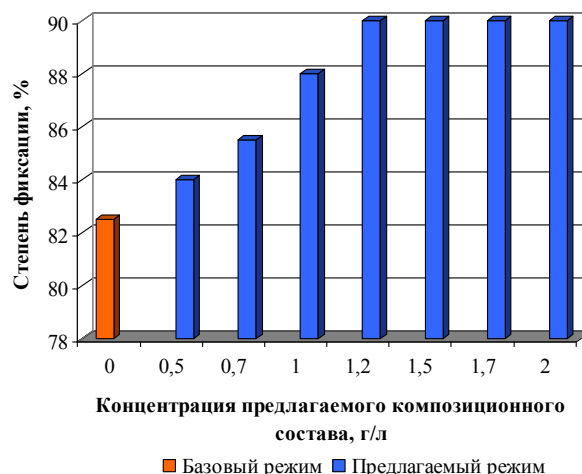


Рис. 3. Определение степени фиксации красителя при периодическом способе

Полученные результаты (рис. 3) позволяют заключить, что композиция ПАВ, разработанная для подготовки трикотажного полотна, обеспечивает получение окрасок высокого качества в последующем процессе крашения трикотажного материала. Это объясняется тем, что рекомендуемые ПАВ обладают максимально смачивающей и моющей способностью, позволяющей эффективно удалять гидрофобные примеси и загрязнения и характеризуются минимальной способностью к образованию пены, что облегчает проведение и повышает скорость технологических процессов подготовки и последующего крашения.

На основании определения влияния разработанной композиции ПАВ на капиллярность трикотажного полотна и его окрашиваемость можно сделать вывод, что предлагаемая композиция ПАВ наиболее эффективна при концентрации 1,2 г/л, увеличение концентрации композиции ПАВ до 2 г/л незначительно влияет на показатели указанных параметров и не рационально с экономической точки зрения.

7. Выводы

1. Установлено, что для подготовки хлопчатобумажного трикотажного полотна в водных растворах ПАВ пенообразование, устойчивость пены, поверхностное натяжение мало влияют на эффективность процесса. Смачивающая и моющая способность ПАВ являются главными показателями для оптимизации композиционного состава. С целью определения оптимального состава композиции проведена оптимизация математических моделей «состав-свойство» по смачивающей и моющей способностям ПАВ.

2. Методом симплекс-решетчатого плана Шеффе второго порядка определен оптимальный состав композиции ПАВ для подготовки хлопчатобумажного трикотажного полотна под крашение (г/л):

ПАВ1=3,40;
ПАВ2=2,75;
ПАВ3=0,95;
ПАВ4=2,90.

3. Композиционный состав ПАВ, разработанный для подготовки трикотажного полотна, обладает максимальной смачивающей и моющей способностью, а также обеспечивает получение окрасок высокого качества в последующем процессе крашения трикотажного материала, что подтверждается увеличением капиллярности (в 3 раза) и степени фиксации активного красителя (на 7,5 %).

Литература

1. Киселев, А. М. Основы пенной технологии отделки текстильных материалов [Текст] / А. М. Киселев. – СПб.: СПГУТД, 2003. – 551 с.
2. Смирнова, О. К. Вспомогательные вещества в химико-текстильных процессах. Современный ассортимент отечественных текстильных вспомогательных веществ [Текст] / О. К. Смирнова, Н. П. Пророкова // Рос. хим. ж. – 2002. – Т. XLVI, № 1. – С. 88–95.
3. Zika, H. T. The use of biodegradable linear alcohol surfactants in textile wet processing [Text] / H. T. Zika // Journal of the American Oil Chemists Society. – 1971. – Vol. 48, Issue 6. – P. 273–278. doi: 10.1007/bf02638461
4. Reyhaneh, A. Type and application of some common surfactants [Text] / A. Reyhaneh, A. Ashjarian // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. – 2015. – Vol. 7, Issue 2. – P. 632–640.
5. Кулаков, О. І. Розробка ефективних змочувачів для текстильної промисловості [Текст] / О. І. Кулаков, А. Я. Ганзюк // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины. – 2005. – № 1. – С. 74–77.
6. Khatri, A. Sustainable dyeing technologies [Text] / A. Khatri, M. White // Sustainable Apparel. – 2015. – P. 135–160. doi: 10.1016/b978-1-78242-339-3.00005-4
7. Fakin, D. The effect of pretreatment on the environment and dyeing properties of a selected cotton knitted fabric [Text] / D. Fakin, D. Golob, Z. Stjepanovic // Fibres and Textiles in Eastern Europe. – 2008. – Vol. 16, Issue 2. – P. 101–104.
8. Карван, С. А. Визначення показників ефективності сучасних поверхнево-активних речовин [Текст] / С. А. Карван, О. А. Параска, О. І. Кулаков // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Т. 2, № 5. – С. 98–101.
9. Кулаков, О. І. Розробка препаратів комплексної дії для текстильної промисловості на основі вітчизняних ПАВ [Текст] / О. І. Кулаков, С. А. Карван, А. Я. Ганзюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – Т. 1, № 2. – С. 69–72.
10. Параска, О. А. Аналіз методів визначення мийної здатності поверхнево-активних речовин [Текст] / О. А. Параска, С. А. Карван, О. І. Кулаков // Вісник КНУТД. – 2006. – № 2. – С. 83–87.
11. Zhiguo, H. Physicochemical Properties and Phase Behavior of Didecyldimethylammonium Chloride/Alkyl Polyglycoside Surfactant Mixtures [Text] / Z. Han, X. Yang, Y. Liu, J. Wang, Y. Gao // Journal of Surfactants and Detergents. – 2015. – Vol. 18, Issue 4. – P. 641–649. doi: 10.1007/s11743-015-1679-5
12. Kovalchuk, N. Surfactant-enhanced spreading: Experimental achievements and possible mechanisms [Text] / N. Kovalchuk, A. Trybała, O. Arjmandi-Tash, V. Starov // Advances in Colloid and Interface Science. – 2015. – Vol. 233. – P. 155–160. doi: 10.1016/j.cis.2015.08.001
13. Кулаков, О. І. Розробка мийних засобів для первинної обробки вовни на основі поверхнево-активних речовин вітчизняного виробництва [Текст] / О. І. Кулаков, А. В. Єрмолаєва, Ю. Г. Сарібекова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 6. – С. 80–84.
14. Ageev, A. A. Correlation between wetting and deterging abilities in mixed surfactant solutions [Text] / A. A. Ageev, B. A. Volkov, M. S. Kibalov, K. K. Kukleva // Fibre Chemistry. – 2012. – Vol. 44, Issue 1. – P. 17–20. doi: 10.1007/s10692-012-9389-5
15. Wang, Q. Optimizing bioscouring condition of cotton knitted fabrics with an alkaline pectinase from *Bacillus subtilis* WSHB04-02 by using response surface methodology [Text] / Q. Wang, X.-R. Fan, Z.-Z. Hua, J. Chen // Biochemical Engineering Journal. – 2007. – Vol. 34, Issue 2. – P. 107–113. doi: 10.1016/j.bej.2006.11.004
16. Kovalchuk, N. Kinetics of spreading of synergetic surfactant mixtures in the case of partial wetting [Text] / N. Kovalchuk, A. Trybała, F. Mahdi, V. Starov // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2016. – Vol. 505. – P. 23–28. doi: 10.1016/j.colsurfa.2015.11.026
17. Trawinska, A. The effect of alkyl chain length on synergistic effects in micellization and surface tension reduction in nonionic gemini (S-10) and anionic surfactants mixtures [Text] / A. Trawinska, E. Hallmann, K. Medrzycka // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2016. – Vol. 506. – P. 114–126. doi: 10.1016/j.colsurfa.2016.06.001
18. Баланова, Т. Е. Влияние строения ПАВ на удаление загрязнений с текстильных материалов в неводной среде [Текст] / Т. Е. Баланова, В. В. Сафонов // Технология текстильной промышленности. – 2012. – № 1. – С. 75–78.
19. Кибалов, М. С. Возможность оценки моющей способности бинарных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) с применением методики оценки капиллярного поднятия [Текст] / М. С. Кибалов, А. А. Агеев, В. А. Волков // Сервис в России и за рубежом. – 2011. – № 1. – С. 84–89.

20. Крикунова, К. Ф. Технический анализ при отделке тканей и трикотажных изделий [Текст] / К. Ф. Крикунова, И. В. Крикунова. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 256 с.
21. Абрамзон, А. А. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение [Текст] / А. А. Абрамзон, Л. П. Зайченко, С. И. Файнгольд. – Л.: Химия, 1988. – 200 с.
22. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии [Текст] / Д. А. Фридрихсберг. – Л.: Химия, 1974. – 352 с.
23. Rakowska, J. Surface tension, wettability and absorptivity of basic components of wetting agents [Text] / J. Rakowska, B. Porycka, B. Twardochleb // *Badania i rozwój*. – 2009. – Vol. 16.
24. Отделка хлопчатобумажных тканей. Ч. 1 [Текст] / под ред. Б. Н. Мельникова // Технология и ассортимент хлопчатобумажных тканей. – М.: Легкомбытиздат, 1991. – 432 с.
25. Ахназарова, С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии [Текст] / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1978. – 320 с.
26. Саутин, С. Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии [Текст] / С. Н. Саутин. – Л.: Химия, 1975. – 48 с.
27. Скалозубова, Н. С. Определение моющей и смачивающей способности ПАВ, используемых в процессах подготовки трикотажного полотна [Текст] / Н. С. Скалозубова, А. Н. Куник, Г. С. Сарибеков // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2014. – № 1. – С. 18–21.
28. Шенфельд, Н. Поверхностно-активные вещества на основе оксида этилена [Текст] / Н. Шенфельд. – М.: Химия, 1982. – 752 с.