

УДК 658.562:675.92

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА  
ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНОГО ПОКРЫТИЯ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕНТОВОГО МАТЕРИАЛА**

**С.В. Мищенко, С.В. Пономарев, А.В. Трофимов, В.А. Самородов**

*Кафедра «Автоматизированные системы и приборы», ТГТУ*

**Ключевые слова и фразы:** индекс воспроизводимости; масса и толщина покрытия; поливинилхлоридное покрытие; тентовый материал.

**Аннотация:** Рассматриваются основные этапы исследования качества формирования поливинилхлоридного покрытия в производстве тентового материала. Определена стабильность технологического процесса, выявлена функциональная зависимость между массой одного квадратного метра и толщиной материала. Предложены корректирующие действия, направленные на повышение оперативности измерения качественного показателя материала за счет замены контроля массы одного квадратного метра тентового материала на контроль толщины.

**Обозначения**

$C_p$ – индекс воспроизводимости процесса, оценивающий возможности удовлетворять технический допуск без учета положения среднего значения;	$x_{\text{изм}}$ – измеренное значение толщины материала;
$C_{pk}$ – индекс воспроизводимости процесса, оценивающий возможности удовлетворять технический допуск с учетом фактического положения среднего значения;	$x_{\text{опт}}$ – оптимальное значение толщины материала;
$\text{cov}(x, y)$ – ковариация;	$y$ – масса материала;
$F$ – коэффициент распределения Фишера;	$\bar{y}$ – среднее арифметическое значение массы;
$LSL$ – нижняя граница допустимого значения массы;	$y_i$ – среднее значение группы;
$m_x$ – математическое ожидание толщины материала;	$y_i^H$ – нижняя граница интервала;
$m_y$ – математическое ожидание массы материала;	$y_i^B$ – верхняя граница интервала;
$n$ – общее число пар данных;	$\alpha$ – доверительная вероятность;
$r$ – коэффициент корреляции;	$\varphi$ – угол поворота маховика подъемного механизма;
$t_{\alpha, \nu}$ – коэффициент Стьюдента;	$\nu$ – число степеней свободы;
$USL$ – верхняя граница допустимого значения массы;	$\sigma_I$ – стандартное отклонение;
$x$ – толщина материала;	$\sigma_i$ – групповое среднеквадратическое отклонение;
	$\sigma_x$ – стандартное отклонение толщины;
	$\sigma_y$ – стандартное отклонение массы;
	$\sigma_{\text{ост}}^2$ – остаточная дисперсия.

## Введение

Тентовый материал (ТМ) для автотранспорта, выпускаемый на ОАО «Искож», предназначен для изготовления тентовых покрытий средств автомобильного транспорта и сельскохозяйственной техники [1]. Материалы тентовые с поливинилхлоридным покрытием для автотранспорта относят к искусственным мягким кожам технического назначения [2], в которых в качестве полимера используется поливинилхлорид (ПВХ). Технологический процесс производства тентового материала основан на принципе нанесения на тканевую основу одностороннего или двухстороннего поливинилхлоридного покрытия с последующим желированием (термической обработкой), тиснением или без тиснения и охлаждением продукции на агрегате хлорвиниловых покрытий. Как показывает практика, качество получаемого материала формируется в основном на стадии нанесения ПВХ композиции, основным из этапов которой является формирование полимерного покрытия, наносимого на основу, осуществляемое с помощью ножевой ракля [3].

### 1 Контроль качества тентового материала

Основным контролируемым показателем качества процесса формирования поливинилхлоридного покрытия в производстве тентового материала является масса одного квадратного метра (масса  $1 \text{ м}^2$ ) получаемого материала. Эта величина определяется, в свою очередь, количеством наносимой на тканевую основу ПВХ композиции при условии, что поверхностная плотность основы постоянна. Поэтому производство ТМ с массой  $1 \text{ м}^2$  большей верхнего допустимого значения, приводит к перерасходу дорогостоящих сырья и материалов, необходимых для получения ПВХ композиции. Производство ТМ с массой  $1 \text{ м}^2$  меньшей нижнего допустимого значения снижает эксплуатационные характеристики ТМ, например, такие как устойчивость к многократному изгибу и водонепроницаемость.

Границы допустимых значений устанавливаются в зависимости от вида и категории ТМ. Однако непосредственный контроль массы  $1 \text{ м}^2$  ТМ приводит к потерям до 3 % продукции и нестабильности выпускаемой продукции по массе. Потери продукции обусловлены необходимостью отбора большого количества проб материала с последующим определением массы  $1 \text{ м}^2$  согласно методике, изложенной в ГОСТ 17073–71. Нестабильность продукции по массе  $1 \text{ м}^2$  определяется практической невозможностью оперативной корректировки хода технологического процесса формирования ПВХ покрытия из-за того, что вывод о соответствии массы  $1 \text{ м}^2$  ТМ установленным требованиям делается только после нанесения определенного количества слоев ПВХ композиции, определяемого видом и категорией ТМ.

### 2 Исследование качества нанесения покрытия

Исследование качества формирования ПВХ покрытия в производстве ТМ проводилось в четыре этапа.

*Первый этап* – этап сбора и обработки данных.

Косвенным параметром, по которому можно судить о массе материала, является его толщина. Определение массы  $1 \text{ м}^2$  ТМ и его толщины осуществляется методами, изложенными в [4]. Процедура определения массы и толщины готовой продукции выполняется исследовательско-аналитической лабораторией предприятия. Выявление зависимости между массой тентового материала и его толщиной невозможно без предварительной статистической обработки данных, которая

включает в себя группировку данных по схожему признаку и отсев аномальных значений в каждой из полученных групп. Группировка заключается в объединении пар данных, имеющих одинаковую толщину. Отсев сильно выделяющихся значений выполняют по каждой из полученных групп отдельно.

Проведен анализ данных, представляющих собой пары средних значений массы – толщины по 266 условным партиям материала ТМП-2-У III категории желтого цвета на тканевой основе артикул 2С-81-18-96 (масса материала данной категории должна быть в пределах 0,85...0,90 кг/м<sup>2</sup>. Цвет материала выбран исходя из того, что для всех указанных партий состав наносимой ПВХ композиции неизменен.

*Второй этап* – этап определения стабильности технологического процесса.

В результате сбора и обработки данных построена гистограмма согласно [5] (рис. 1). Весь диапазон разброса значений массы согласно формуле Стерджесса [5] разбит на  $N \approx 1 + 3,322 \lg 266 = 9$  частей. Гистограмма позволяет наглядно представить показатели процесса  $C_p$  и  $C_{pk}$ , расчет и описание которых приведены ниже. Все обозначения соответствуют [6].

1) Рассчитаем индекс воспроизводимости процесса  $C_p$  :

– определим среднее арифметическое значение массы для  $n = 266$ , которое определяется как

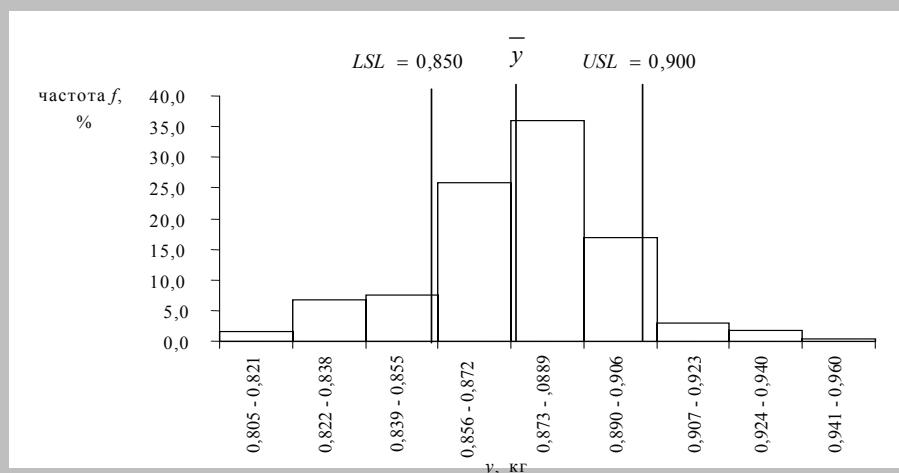
$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = 0,874 \text{ кг};$$

– рассчитаем величину стандартного отклонения по формуле

$$\sigma_I = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 0,22 \text{ кг};$$

– определим индекс воспроизводимости процесса

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_I} = 0,376.$$



**Рис. 1** Гистограмма, характеризующая частоту попаданий значений массы в соответствующий интервал

Индекс воспроизводимости процесса  $C_p$  используется для оценки возможностей технологического процесса удовлетворять технический допуск без учета положения среднего значения. В нашем случае  $C_p < 1$  и, как видно, диапазон разброса значительно шире диапазона допустимых значений.

2) Рассчитаем индекс воспроизводимости процесса  $C_{pk}$  с учетом фактического положения среднего значения, определяемый из условия

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \bar{y}}{3\sigma_I}; \frac{\bar{y} - LSL}{3\sigma_I} \right\} = 0,4.$$

Столь низкое значение  $C_{pk}$  говорит о том, что процесс является неуправляемым с точки зрения получения материала с заданным значением массы. Равенство значений  $C_p$  и  $C_{pk}$  обусловлено практически полным совпадением среднего значения с серединой диапазона допустимых значений. В создавшейся ситуации очевидны два пути решения.

Первый путь – изменение границ поля допуска. Такое решение может иметь место, если на это согласится потребитель. Однако, не каждый потребитель согласится пойти на это, исходя из условий непосредственного использования материала. Следуя этим путем, предприятие может потерять значительную часть потребителей, а значит, и прибыль.

Второй путь – осуществить наладку процесса, т.е. путем настройки и усовершенствования оборудования добиться, чтобы масса материала не только не выходила за пределы допуска, но даже не достигала бы наименьшего  $LSL$  и наибольшего  $USL$ . Этот путь невозможен без выявления и анализа основных причин, вызывающих колебания толщины материала, а, значит, и его массы.

*Третий этап* – этап определение функциональной зависимости и силы связи между показателями. Для оценки вида и тесноты связи наиболее удобно представить рассмотренные выше данные с применением диаграммы разброса, представленной на рис. 2.

Данная диаграмма характеризуется наличием положительной корреляционной зависимости между параметрами. Для количественной оценки зависимости вычислим коэффициент корреляции  $r$

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}.$$

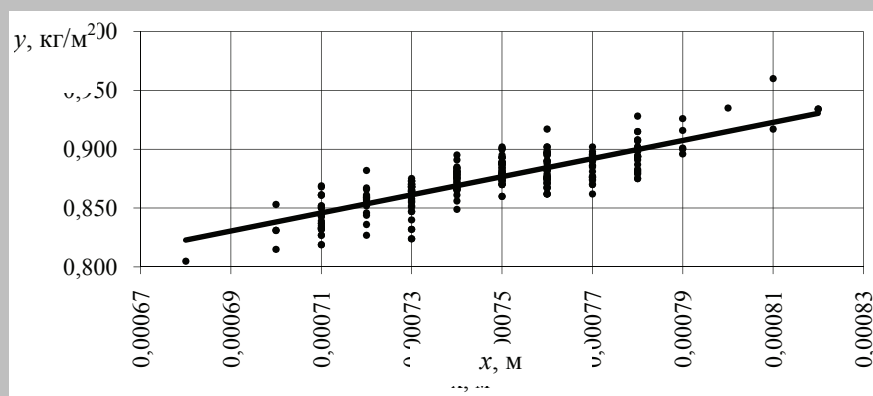


Рис. 2 Диаграмма разброса и аппроксимирующая линейная зависимость

Ковариация может быть определена из следующего выражения:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)(y_i - m_y) = 0,42,$$

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 0,00075 \text{ м},$$

$$m_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = 0,874 \text{ кг}.$$

Среднеквадратичные отклонения найдем по формулам:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2} = 0,000024 \text{ м},$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - m_y)^2} = 0,2223 \text{ кг}.$$

Вычисленное таким образом значение коэффициента корреляции оказалось равным  $r = 0,81$ .

Эта величина коэффициента корреляции, согласно [5], свидетельствует о наличии сильной прямой связи между массой материала и его толщиной.

Существует множество методов нахождения парной функциональной зависимости [7]. Наиболее простым и наиболее часто используемым является метод наименьших квадратов. В результате проведенных расчетов по всем имеющимся парам данных ( $n = 266$ ) было получено уравнение линейной регрессии

$$y = 768,25x + 300,46.$$

Как показали дальнейшие расчеты, линейную зависимость нельзя считать адекватной, так как она не удовлетворяет условию критерия Фишера [7], т. е. значение статистики  $F = 3,8528$  превосходит границу значимости, определяемую коэффициентом распределения Фишера  $F(5\%, 12, \infty) = 1,7522$ . Расчет коэффициентов полиномов второго и высших порядков позволяет получить зависимости, более точно описывающие связь массы и толщины тентового материала. Однако, как показали расчеты, вычисление коэффициентов полиномов степени выше третьей приводит к росту величины  $\sigma_{\text{ост}}^2$  [7]. Поэтому для описания исследуемой зависимости остановимся на регрессионной модели

$$y = 92555,23x^3 - 210536,29x^2 + 160225,38x - 39911,36,$$

график которой представлен на рис. 3.

Использование этой зависимости позволяет с определенной погрешностью определять значение массы материала исходя из его толщины, что, в свою очередь, позволит оперативно осуществлять регулирование процесса нанесения, а именно, изменять (увеличивать или уменьшать) зазор между фаской ножевой ракли и поверхностью, на которую осуществляется нанесение ПВХ композиции. Оперативность может быть достигнута внесением корректив в размер зазора ракли уже на данном слое, а не на последующих.

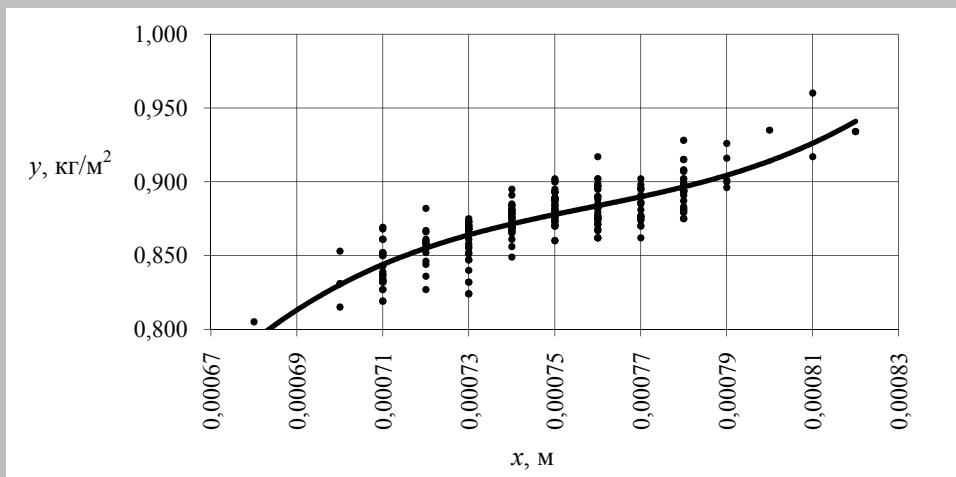


Рис. 3 Диаграмма разброса и аппроксимирующий полином 3-й степени

Четвертый этап – этап определения оптимальной толщины материала.

Для практического применения удобнее использовать заранее рассчитанные значения нелинейной регрессионной зависимости, представленные в виде табл. 1. Приведенные в этой таблице значения были рассчитаны с помощью построенной нелинейной регрессионной модели.

Определим погрешность измерения массы, а также границы доверительных интервалов для каждой из групп данных. Величина предельного отклонения данных от среднего значения в каждой отдельной группе может быть найдена по формуле

$$\Delta y_i = t_{\alpha, \nu} \sigma_i,$$

где  $t_{\alpha, \nu}$  – табличное значение [5], определяемое для доверительной вероятности  $\alpha$  и числа степеней свободы  $\nu = n_i - 1$ ;

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_i} (y_j - \bar{y}_i)^2}{n_i - 1}} - \text{групповое среднее квадратичное отклонение.}$$

Таблица 1

Измеренное значение толщины тентового материала $x \cdot 10^3$ , м	Рассчитанное значение массы тентового материала $y \cdot 10^3$ , кг/м <sup>2</sup>
0,70	830,1
0,71	843,9
0,72	855,0
0,73	863,9
0,74	871,4
0,75	877,8
0,76	883,7
0,77	889,7
0,78	896,4
0,79	904,3

Значения коэффициентов Стьюдента для доверительной вероятности  $\alpha = 95\%$  приведены в [5]. Доверительный интервал будет однозначно определяться нижней  $y_i^H = \bar{y}_i - \Delta y_i$  и верхней  $y_i^B = \bar{y}_i + \Delta y_i$  границами, определяемыми относительно среднего значения группы  $\bar{y}_i$ .

Результаты расчета границ доверительных интервалов для рассмотренных ранее данных представлены в табл. 2.

Нагляднее представить данные табл. 2 можно с помощью графика, приведенного на рис. 4, на котором можно видеть, что материал имеющий толщину  $0,74 \cdot 10^{-3}$  м с большой долей вероятности ( $\alpha = 95\%$ ) будет соответствовать установленным требованиям, а именно будет иметь массу  $1 \text{ м}^2$  находящуюся в диапазоне  $0,850 \dots 0,900 \text{ кг/м}^2$ . Следовательно, оптимальным результатом процесса нанесения ПВХ композиции можно считать материал, средняя толщина которого в рулоне будет равна  $0,74 \cdot 10^{-3}$  м.

Таблица 2

Номер группы	Толщина материала $x \cdot 10^3, \text{ м}$	Средняя масса материала в группе $\bar{y}_i, \text{ кг/м}^2$	Предельное отклонение от среднего значения в группе, $\text{кг/м}^2$	Границы доверительного интервала для вероятности $\alpha = 95\%$	
				нижняя	верхняя
1	0,70	0,833	0,050	0,783	0,882
2	0,71	0,843	0,030	0,813	0,872
3	0,72	0,855	0,029	0,827	0,884
4	0,73	0,859	0,030	0,830	0,889
5	0,74	0,874	0,018	0,856	0,892
6	0,75	0,882	0,020	0,863	0,902
7	0,76	0,883	0,026	0,857	0,908
8	0,77	0,883	0,022	0,861	0,905
9	0,78	0,895	0,028	0,867	0,923
10	0,79	0,908	0,035	0,873	0,943

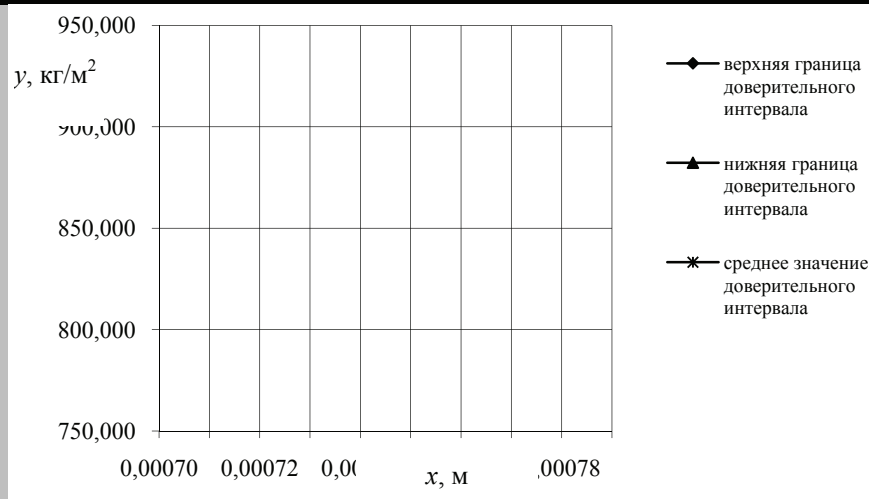


Рис. 4 Границы доверительных интервалов и средние значения массы тентового материала для одинаковых толщин

### 3 Оперативное управление системой нанесения

В процессе производства может наблюдаться отклонение толщины получаемого материала от оптимальной, определенной выше. Это может быть вызвано неточной первоначальной установкой зазора между фаской ножа наносного устройства и поверхностью ткани (подложки). Для устранения этой причины необходимо изменить зазор на величину  $\Delta h$ , соответствующую наблюдаемому отклонению измеренной толщины от оптимального значения.

Величину  $\Delta h$  определяют как

$$\Delta h = x_{\text{опт}} - x_{\text{изм}},$$

где  $x_{\text{опт}} = 0,74 \cdot 10^{-3}$  м;

Зазор необходимо увеличить, если  $\Delta h > 0$ , и уменьшить, если  $\Delta h < 0$ .

Изменение величины зазора осуществляется путем вращения маховика подъемного механизма винтового типа наносного устройства. Подъемный механизм бесшкальный, т. е. нож может быть поднят или опущен на величину, соответствующую числу оборотов маховика. Опытным путем, с помощью набора стандартизованных щупов № 2 кл. 2, было установлено соответствие между изменением зазора и углом поворота маховика подъемного механизма.

Таблица 3

Измеренное значение толщины материала $x_{\text{изм}} \cdot 10^3$ , м	Отклонение толщины от оптимального значения $\Delta h \cdot 10^3$ , м	Угол поворота маховика подъемного механизма $\varphi$ , град
	$\Delta h > 0$	повернуть маховик по часовой стрелке на угол:
0,68	0,06	44
0,69	0,05	36
0,70	0,04	29
0,71	0,03	22
0,72	0,02	15
0,73	0,01	7
0,74	$\Delta h = 0$	положение ножа не изменять
	$\Delta h < 0$	повернуть маховик против часовой стрелки на угол:
0,75	-0,01	7
0,76	-0,02	15
0,77	-0,03	22
0,78	-0,04	29
0,79	-0,05	36
0,80	-0,06	44
0,81	-0,07	51
0,82	-0,08	58

Использование табл. 3 позволит оперативно реагировать на отклонение толщины ТМ от оптимального значения и, следовательно, уменьшить количество продукции, несоответствующей установленным требованиям, а также поможет упростить управление наносным устройством.



### Список литературы

1. ГОСТ 29151–91. – Материалы тентовые с поливинилхлоридным покрытием для автотранспорта. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1992. – 11 с.
2. ГОСТ 16119–70. – Кожа искусственная мягкая. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1970. – 8 с.
3. Евдокимов В.В. Нанесение покрытий в производстве рулонной искусственной кожи. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 128 с.
4. ГОСТ 17073–71. – Кожа искусственная. Методы определения толщины и массы 1 м<sup>2</sup>. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1971. – 10 с.
5. Теория статистики / Под ред. Р.А. Шмойловой. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 576 с.
6. ГОСТ Р 50779. 44–2001. – Статистические методы. Показатели возможности процессов. Основные методы расчета. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 23 с.
7. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1982. – 224 с.

---

## Research of Quality Formation of Polyvinylchloride Coating in Tent Material Production

S.V. Mishchenko, S.V. Ponomarev, A.V. Trofimov, V.A. Samorodov

*Department “Automated Systems and Devices”, TSTU*

**Key words and phrases:** index of process reproducibility; mass and thickness of coating; polyvinylchloride coating; tent material.

**Abstract:** Basic stages in research of quality of polyvinylchloride coating formation in tent material production are considered. Stability of technological process is determined. Functional dependence of one square meter mass on material thickness is revealed. Corrections aimed at increase in operativeness of measurement of material quality indicator, which is due to replacement of mass control of one square meter of tent material by thickness control are suggested.

---

## Untersuchung der Qualität der Formierung der Polyvinylchloridbedeckung in der Herstellung des Sonnensegelstoffes

**Zusammenfassung:** Es werden die Grundetappe der Untersuchung der Qualität des Prozesses der Formierung der Polyvinylchloridbedeckung in der Herstellung des Sonnensegelstoffes betrachtet. Es ist die Stabilität des technologischen Prozesses bestimmt. Es ist die Funktionalabhängigkeit zwischen der Masse des einen Quadratmeters und der Stoffdicke gezeigt. Es sind die auf die Erhöhung der Schnelligkeit der Messung des Qualitätswertes des Stoffes durch das Ersetzen der Kontrolle der Masse vom einen Quadratmeter des Sonnensegelstoffes auf die Dickenkontrolle gerichteten Korrigierungssaktionen vorgeschlagen.

## **Etude de la qualité de la formation du revêtement de polyvinylchlorure dans la production du matériel de tente**

**Résumé:** Sont examinés les étapes essentiels de l'étude de la qualité du processus de la formation du revêtement de polyvinylchlorure dans la production du matériel de tente. Est définie la stabilité du processus technologique; est déduite la dépendance fonctionnelle entre la masse d'un mètre carré et l'épaisseur du matériel. Sont proposées les actions de correction visant à augmenter la vitesse de la mesure de l'indice de la qualité du matériel compte tenu du changement de la forme du contrôle de l'épaisseur.

---