

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

TECHNOLOGY INSTRUMENTATION

УДК 621.31

doi:10.21685/2307-5538-2022-3-11

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШКАЛ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Т. В. Бувевич¹, А. Г. Кириллов², В. Н. Сакевич³

^{1,2,3} Витебский государственный технологический университет, Витебск, Республика Беларусь
¹buevih.tv@gmail.com, ²kirillov.malp@gmail.com, ³igsakevich@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Приборная шкала состоит из металлического или полимерного основания, на которое нанесены краски для обозначения градуировок, знаков и символов. Нанесение цветных изображений осуществляется способами шелкотрафаретной, фотохимической или тампонной печати, которые имеют ряд существенных недостатков. Шкалы на металлической основе требуют специальной предварительной подготовки поверхности. При изготовлении пленочных шкал после нанесения краски плоская основа подвергается резке по контуру с выполнением технологических отверстий. Этот процесс осуществлялся вырубкой на прессе, причем для изготовления каждого вида шкалы требуется большая номенклатура высокоточной оснастки. Цель работы – разработка автоматизированной технологии изготовления приборных шкал, включающей современные цифровые технологии нанесения слоистых систем краски, механической резки по контуру, автоматизированного нанесения клея, обеспечивающих высокое качество изделий. *Материалы и методы.* Изображение наносилось за одну технологическую операцию на струйном принтере с УФ-отверждением. Испытания показали, что опытные образцы циферблатов из пленки Makrofol DE 6-2 Natur 0.42 соответствуют эксплуатационным требованиям и требованиям по межоперационному хранению. Поставленные задачи решены на основании результатов опытных работ по исследованию внедряемых технологических процессов; использования методов компьютерного моделирования. *Результаты.* Разработан способ изготовления приборной шкалы и автоматизированная линия для его осуществления, включающая участок современных цифровых технологий нанесения слоистых систем на струйном принтере с УФ-отверждением, участок механической резки по контуру на режущем плоттере, участок автоматизированного локального нанесения клея, реализованная в виде автоматизированного комплекса. *Выводы.* Предлагаемая технология изготовления пленочных шкал для информационно-измерительных приборов обеспечивает повышение производительности в 6,8 раз, повышение экономичности и гибкости производства, позволяет быстро и малозатратно перестраиваться на выпуск новых изделий программным путем за счет комплексного внедрения новых методов автоматизации и современных технологических процессов на всех этапах производственного цикла.

Ключевые слова: автоматизированная технология, пленочная шкала, прибор, цифровая печать, раскрой, изготовление, струйный принтер, режущий плоттер, автоматизированный комплекс

Для цитирования: Бувевич Т. В., Кириллов А. Г., Сакевич В. Н. Автоматизированная технология изготовления шкал для информационно-измерительных приборов // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 92–100. doi:10.21685/2307-5538-2022-3-11

AUTOMATED TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING SCALES FOR INFORMATION AND MEASURING DEVICES

T.V. Buevich¹, A.G. Kirillov², V.N. Sakevich³

^{1,2,3} Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus
¹buevih.tv@gmail.com, ²kirillov.malp@gmail.com, ³igsakevich@yandex.ru

Abstract. *Background.* The instrument scale consists of a metal or polymer base, on which paints are applied to indicate graduations, signs and symbols. The application of color images is carried out by silk-screen, photochemical or pad printing methods, which have a number of significant disadvantages. Metal-based scales require special preliminary surface preparation. In the manufacture of film scales, after applying paint, the flat base is cut along the contour with the execution of technological holes. This process was carried out by cutting on a press, and a large range of high-precision tooling is required for the manufacture of each type of scale. The purpose of the work is to develop an automated technology for manufacturing instrument scales, including modern digital technologies for applying layered paint systems, mechanical contour cutting, automated glue application, ensuring high quality products. *Materials and methods.* The image was applied in one technological operation on an inkjet printer with UV curing. Tests have shown that prototypes of dials made of Makrofol DE 6-2 Natur 0.42 film meet operational requirements and requirements for interoperative storage. The tasks were solved on the basis of the results of experimental work on the study of implemented technological processes; the use of computer modeling methods. *Results.* A method of manufacturing an instrument scale and an automated line for its implementation has been developed, including a section of modern digital technologies for applying layered systems on an inkjet printer with UV curing, a section of mechanical contour cutting on a cutting plotter, a section of automated local glue application, implemented as an automated complex. *Conclusions.* The proposed technology for manufacturing film scales for information and measuring devices provides a 6.8-fold increase in productivity, increased efficiency and flexibility of production, allows you to quickly and cost-effectively rebuild to produce new products programmatically through the integrated introduction of new automation methods and modern technological processes at all stages of the production cycle.

Keywords: automated technology, film scale, device, digital printing, cutting, manufacturing, inkjet printer, cutting plotter, automated complex

For citation: Buevich T.V., Kirillov A.G., Sakevich V.N. Automated technology for manufacturing scales for information and measuring devices. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2022;(3):92–100. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-3-11

Введение

В настоящей работе представлены результаты разработки автоматизированной технологии изготовления приборных шкал, реализованной в виде автоматизированного комплекса из участков цифровой печати, механической резки по контуру, нанесения клея на шкалу.

Для информационно-измерительных приборов изготавливается широкая номенклатура шкал. Приборная шкала представляет собой непрозрачное металлическое (сплавы алюминия, сталь) или прозрачное полимерное (оргстекло, силикатное стекло, пленки поликарбонатные) основание, на которое нанесены краски для обозначения градуировок, знаков и символов, а также для покрытия зон за пределами контуров градуировок, знаков и символов. Основным ограничением при выборе материала полимера для прозрачных шкал являются температурные требования к шкале от -70°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Таким требованиям удовлетворяют только поликарбонатные пленки.

На рынке представлено огромное количество названий и марок поликарбонатной пленки с различными свойствами. При выборе материала, соответствующего предъявляемым к шкалам техническим и экономическим требованиям, были проведены следующие испытания различных пленок Makrofol компании Bayer: проверка теплопрочности по ТУ РБ 300125187.177-2002; проверка холодопрочности по ТУ РБ 300125187.180-2002; проверка влагуостойчивости по ТУ РБ 300125187.177-2002; проверка вибропрочности ТУ РБ 300125187.177-2002; проверка устойчивости к воздействию топливно-смазочных материалов; проверка устойчивости к воздействию антистатика; проверка освещенности шкалы по ТУ РБ 300125187.177-2002.

Материалы и методы

По результатам проведенных испытаний в качестве материала для шкал выбрана пленка Makrofol DE 6-2 Natur 0.42. Пленка Makrofol DE 6-2 – прозрачная, светорассеивающая, устойчивая к царапинам, экструдированная, разработана специально для графических применений. Структура поверхностей пленки – высокобархатная, высококоматовая. Диапазон толщин пленки – 125...500 микрон.

Предварительные испытания опытных образцов шкал из выбранного материала показали их соответствие эксплуатационным требованиям и требованиям по межоперационному хранению.

Ответственным технологическим этапом изготовления шкалы является нанесение изображений на основу. Традиционно нанесение краски осуществляется способами шелкотрафаретной [1], фотохимической или тампонной печати, которые имеют ряд недостатков. Грубость ячеистой сетки не позволяет достигнуть желаемой детализации изображения. Необходимость естественной сушки либо сушки в условиях вынужденной конвекции удлиняет процесс и увеличивает энергозатраты. При выполнении цветного изображения требуются краски конкретных оттенков, что ведет к большим расходам на замену красок при переходе на изготовление новой шкалы, к необходимости иметь в наличии и хранить краски всей цветовой гаммы. Таким образом, недостатками традиционных способов нанесения изображения являются низкое разрешение рисунка (50–90 dpi), сложная передача градиентов цвета, высокая материалоемкость, энергоемкость и, соответственно, стоимость процесса [2, 3].

По новой технологии на пленочную основу для создания на приборных шкалах цветных изображений в местах градуировок, знаков и символов, которые должны восприниматься в определенном цвете, а также покрытия участков вне контуров градуировок, знаков и символов краски наносятся цифровой печатью на струйном принтере с УФ-отверждением за одну технологическую операцию.

Требуемые цветовые оттенки изображения образуются путем наложения соответствующих слоев красок. Для УФ принтера применяется цветовая схема CMYK, состоящая из четырех стандартных цветов: голубого, пурпурного, желтого и черного. Требуемые цвета градуировок, знаков, символов, а также зон за их контурами образуются одним или несколькими частично или полностью перекрывающимися друг друга прозрачными слоями красок стандартной цветовой схемы, что позволяет получать любые требуемые оттенки без замены красок при переходе на изготовление новой шкалы. Дополнительно имеются картриджи с белым цветом и лаком. Наличие белого цвета оказывает важное влияние на формирование оптической плотности и улучшает цветопередачу на прозрачных носителях [4]. При нанесении лака обеспечиваются твердость и долговечность покрытия, а также осуществляется заполнение регионов для задания требуемой толщины слоев [5, 6].

В результате проведенных исследований разработана методика нанесения слоистых систем на прозрачный циферблат. Исходная информация об изображении графических элементов шкалы содержится в виде чертежа. При подготовке печати слоистых систем графическую информацию чертежа разделяют на слои в векторном формате с использованием различных графических примитивов и заливок. Формат представления векторной графики содержит математическое описание элементарных графических объектов (примитивов): отрезков прямых, окружностей и их дуг, текстовых надписей и др. Примитивы для печати имеют заливку и располагаются на нескольких слоях, количество которых определяется количеством слоев краски или лака, наносимых на циферблат. На рис. 1 приведены примеры вида приборной панели и чертежа лицевой стороны ее шкалы.



Рис. 1. Вид приборной панели и чертеж лицевой стороны ее шкалы

Использование векторного формата обусловлено высокими требованиями к точности, качеству и производительности печати.

На первом этапе разработки слоистой системы формируется верхний (видимый) слой, который является лицевой стороной циферблата. Требования при печати верхнего слоя к символам и обозначениям – по ГОСТ 26336-97; к цветовой схеме – желтая, зеленая, красная, белая, черная. На втором этапе разрабатывается нижний (невидимый) слой, который необходим для повышения контрастности при подсветке циферблата с обратной стороны. Общий вид нижнего слоя, формируемого с помощью клея, показан на рис. 2, в.



Рис. 2. Общий вид: а – пленочной приборной шкалы с лицевой стороны без подсветки (верхний слой); б – с лицевой стороны с подсветкой (нижний слой); в – приборной шкалы с обратной стороны, на которую нанесен клеевой слой в виде отдельных пятен, которые слабо видны на рисунке по причине бесцветности и прозрачности клея

Для реализации технологии цифровой печати выбран планшетный УФ-принтер Mimaki UJF-6042 MkII [7]. Формат печати A2 (610 × 420 мм), скорость печати до 3,52 м²/ч, толщина материала до 153 мм, разрешение 1200 × 1200 точек на дюйм, интерфейс USB, Ethernet. Для печати пробных циферблатов использовались следующие краски фирмы Argon: желтая 16-201, зеленая 16-501, красная 16-303 (в.ч. 100), белая 16-100, черная 35-797.

Повышение точности при использовании векторного формата изображений циферблатов достигается за счет точного соблюдения размеров и расположения как печатаемых элементов, так и размеров всего изображения; заданием цветов в цветовой модели СМΥК; точным совмещением печатаемых слоев. Производительность при печати векторных изображений повышается по сравнению с печатью растровых изображений за счет уменьшения объема, занимаемого изображением. После формирования изображения в векторном формате печать осуществляется с помощью раstra, наносимого посредством отдельных капель, с разрешением 1200 dpi. Векторный формат позволяет формировать растровое изображение с различным размером пикселей. Новая технология эмульсионного дизайнера Mimaki Fine Diffusion 1 technology (MFD1) позволяет особым образом обрабатывать печатные данные, чтобы в режиме четырехцветной печати получить максимально высокое качество изображения без видимого раstra и с бесступенчатыми градиентными переходами.

Для пленочных шкал после нанесения цветных изображений плоская основа с рисунком подвергается резке по контуру с выполнением технологических отверстий. Этот процесс осуществлялся вырубкой на прессе, что нецелесообразно: для каждого вида шкалы требуются изготовление, обслуживание и ремонт большой номенклатуры высокоточной оснастки (до 37 штампов); на точность вырубki существенное влияние оказывает человеческий фактор; невозможно оперативно вносить изменения в расположение и формы градуировок, символов, знаков и других элементов. Проводились экспериментальные и теоретические исследования возможности резки на CO₂-лазере, в результате чего выявлено негативное влияние процессов окисления и плавления в зоне резания, а также окисление слоев краски. Исследование процессов окисления и плавления при резании на CO₂-лазере листов из поликарбоната и других по-

лимеров осуществлялось авторами [8–10]. Подбор режимов резания [11] не дал существенных улучшений качества операции.

По новой технологии предлагается механическая резка по заданной управляющей программе на режущем плоттере. Нож режущего плоттера в соответствии с заданной последовательностью выполняет вначале внутренние отверстия, а затем вырезает шкалу по контуру. Чтобы исключить смещение контура циферблата относительно градуировки, необходимо точное позиционирование пленки при ее загрузке в режущий плоттер. Данное позиционирование осуществляется посредством системы технического зрения режущего плоттера по технологическим меткам в виде крестиков размером около 10 мм, нанесенным на пленку вместе с основным изображением.

Для управляющей резкой программы по исходной информации чертежа шкалы в векторном редакторе формируются соответствующие линии контуров для резки технологических отверстий для позиционирования циферблата на стекле прибора и наружных контуров шкалы. Прimitives для раскроя не имеют заливки (отрезки прямых, дуги окружностей, сплайны) и располагаются на отдельном слое, который представлен на рис. 3.

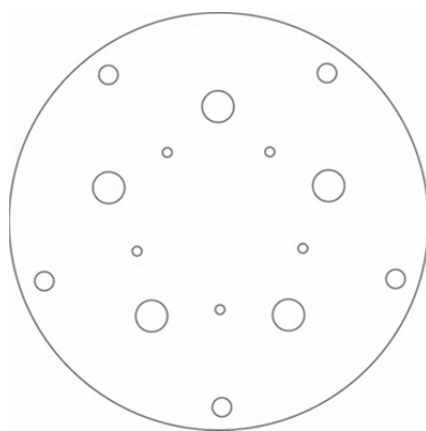


Рис. 3. Наружный контур шкалы и контуры отверстий

Для повышения производительности как резки пленочных шкал с помощью режущего плоттера, так и печати шкал на УФ-принтере разрабатывается групповая раскладка, которая представляет собой файл с размещенными в определенном порядке по горизонтали и вертикали изображениями отдельных шкал.

Групповой раскрой позволяет уменьшить количество отходов пленки и уменьшить затраты времени на операции загрузки-выгрузки. Раскладка для группового раскроя зависит от поля обработки плоттера, размеров шкал и технологических отступов от края заготовки до шкал, а также между шкалами.

Объединение информации о резке и печати шкал в одном файле позволяет уменьшить количество ошибок при их разработке, а также позволяет точно совместить контуры для печати и раскроя. Программное обеспечение комплекса для печати, механической резки обеспечивает формирование изображений раскладки, используя многослойные изображения шкал. Для печати изображения используется несколько слоев, а для резки – один дополнительный слой.

Для реализации автоматизированной технологии изготовления пленочных шкал выбран планшетный режущий плоттер Bigzee Cutter для листовых материалов. Рулонные материалы для печати шкал не подходят, так как для придания шкале плоского вида потребуется введение в технологию изготовления шкалы дополнительной операции по выпрямлению заготовки, что приведет к удорожанию изделия. После фиксации листа на рабочем столе процесс раскроя листового материала выполняется ножом режущей головки, движущейся по заданной траектории с помощью подвижной каретки. Исполняющая процесс резки режущая головка может двигаться в различных направлениях. Фиксация листов на столе производится с помощью специально оборудованного вакуумного устройства. Основные характеристики режущего плоттера Bigzee Cutter: толщина обрабатываемого материала – от 0,42 мм; максимальная об-

ласть резки – не менее 610×420 мм; скорость резки не менее 20 мм/с; абсолютная точность резки – погрешность не более $\pm 0,1$ мм [12].

Для качественной резки пленочных шкал обосновано преимущество статического (тангенциального) ножа. Особенностью тангенциального ножа является то, что на крутых поворотах траектории резки нож автоматически поднимается, выходя из материала, поворачивается на рассчитанный угол и опускается в материал вновь. Тем самым исключается вращение лезвия в материале, последствием которого может быть скол верхнего слоя сложной пленки, например, напечатанного слоя, сдвиг носителя или дефект резки. Поворотом лезвия ножа при тангенциальной резке управляет процессор, рассчитывающий положение лезвия в каждой точке траектории, что дает более аккуратный результат даже при резке мелких элементов, букв и знаков размером менее 5 мм на больших скоростях. Возможность раскроя толстых (до 1,2 мм) и сложных по своему составу пленок обеспечивается в полтора раза большим давлением на тангенциальный нож по сравнению с флюгерным ножом. Тангенциальное управление обеспечивает точное следование контуру резки, в то время как поворот флюгерного ножа запаздывает при смене направления вектора резки, для чего в управляющей программе вводят поправочные коэффициенты, зависящие от характеристик материала. Кроме этого, лезвие вращается сквозь втулку, подшипники которой прижимают материал в области резки, что исключает эффект подъема материала вслед за лезвием.

После вырезания технологических отверстий и самой приборной шкалы приборная шкала помещается в блок для автоматизированного нанесения клея, где ее ориентируют с помощью трафарета по маркерным меткам и наносят клей на тыльную сторону приборной шкалы в заданных местах с помощью тампонной печати. Клей не наносится в местах расположения источников света, осуществляющих подсветку шкалы. Требования к клеевому соединению шкалы с циферблатом следующие: клей должен быть прозрачным, бесцветным и удерживать шкалу от смещений на циферблате в температурном диапазоне от -70 °С до $+125$ °С, шкала должна иметь возможность отсоединения от циферблата без разрушения и быть приклеена снова на циферблат без дополнительного нанесения клея.

Использование готовых листов с клейкой поверхностью не оправдало себя из-за высокой стоимости, ограничений по толщине, прочностным и оптическим свойствам существующих материалов. В связи с этим разработана установка для автоматизированного нанесения клея в определенных точках. Подбор оптимальных параметров рабочего процесса для автоматизированного нанесения клея с использованием сжатого воздуха осуществлялся в работах [13, 14].

Разработана технология и создана установка для точечного автоматизированного нанесения клея на обратную сторону циферблата в заданных местах. Количество точек и места их нанесения оптимизированы из соображений необходимой прочности соединения циферблата и шкалы и минимизации времени для их нанесения.

Блок для автоматизированного нанесения клея разработан на базе старой машины QUADRA, предназначенной для технологий поверхностного монтажа. Была взята от QUADRA вся механика и система управления перемещением головки. Головка модифицирована для нанесения клея с помощью тампонной печати. Установку снабдили узлом вакуумного прижима циферблатов, специальным трафаретом для ориентации по маркерным меткам циферблатов, системой автоматической подачи и перелива клея. Максимальная рабочая площадь машины – 550×420 мм. Точность составляет $\pm 0,10$ мм по осям X и Y . Повторяемость равна $\pm 0,06$ мм на осях X и Y . Производительность – более 4000 пятен в час.

Проведены исследования по выбору марки и концентрации клея, а также инструмента для его нанесения на пленочную шкалу. Для крепления циферблатов к шкале подобран клей Kiworprint D159AF, разведенный с водой в соотношении 1:1.

По испытаниям насадок из разных материалов предпочтительнее оказались насадки из пористой резины ТУ 38 105867-90 формы «мягкий конус». Насадка совместима с клеем Kiworprint D159AF, дает четкий отпечаток и равномерный слой клея, позволяет регулировать толщину и диаметр отпечатка клея изменением глубины погружения в ванну с клеем и высоты подъема над рабочим столом.

Результаты

Таким образом, разработана новая технология изготовления приборных шкал с автоматизацией процесса их производства и реализована в виде универсального программно-

аппаратного комплекса, состоящего из участка автоматизированной цифровой печати на струйном принтере с УФ-отверждением, участка автоматизированной резки по контуру с выполнением технологических отверстий на планшетном режущем плоттере, участка автоматизированного нанесения клея в заданных местах на специально доработанной установке на базе машины QUADRA.

Анализ источников патентной и научно-технической информации по способам изготовления циферблатов, нанесения изображения и крепления циферблата показал, что аналоги готовых автоматизированных систем изготовления приборной шкалы и автоматизированной линии для его осуществления в мире отсутствуют. Идеи, положенные в создаваемую инновацию, защищены патентом [15].

Заключение

Разработанный технологический процесс обеспечивает следующие возможности:

- быстрая переналадка программным путем без переоснащения оборудования, что дает возможность изготовления шкал в день заказа;
- нанесение многослойного цветного покрытия за один цикл;
- формирование изображения на плоской основе и на объемном предмете;
- изготовление шкал на пленочной основе без дополнительной оснастки;
- снижение материалоемкости, трудоемкости, энергоемкости изготовления продукции;
- унификация способов нанесения изображения на шкалы;
- возможность выпуска продукции нестандартных исполнений и малых серий;
- повышение качества выпускаемых изделий.

Благодаря интегрированному подходу к разработке цифровых технологий печати, раскроя пленочных шкал и нанесения клея на их тыльную сторону достигнуто повышение гибкости производственного процесса изготовления пленочных шкал с одновременным обеспечением высокой производительности процесса и качества продукции.

Список литературы

1. Cazac V., Cîrja J., Balan E., Mohora C. The study of the screen printing quality depending on the surface to be printed // MATEC Web Conf. 2018. Vol. 178. P. 03015.
2. Потапов Ю., Потапова У. Мир трафаретной печати : практ. пособие. М. : Гелла-Принт, 2001. 112 с.
3. Все о шелкографии: виды, способы нанесения, особенности. URL: <https://www.grizzlyb2b.ru/blog/vsye-o-shelkografi-vidy-sposoby-naneniya-osobennosti/> (дата обращения: 08.02.2022).
4. Wu Y. J. Color Reproduction Study on the Corrugated Packaging Using UV Wide-format Inkjet Printer // NIP & Digital Fabrication Conference, Printing for Fabrication Online 2021 Final Program and Proceedings. 2021. P. 92–97.
5. Takatani T., Fujita K., Tanaka K. et al. Controlling translucency by UV printing on a translucent object // IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications. 2018. Vol. 10. P. 7.
6. Li K., Li T., Zhang T. et al. Facile full-color printing with a single transparent ink // Science advance. 2021. Vol 7. P. 39.
7. УФ-принтер Mimaki UJF-6042 MkII. URL: <https://www.ofitrade.ru/cat/plotters/uv/mimaki-ujf-6042-mkii/> (дата обращения: 08.02.2022).
8. Wu C., Li M., Huang Y., Rong Y. Cutting of polyethylene terephthalate (PET) film by 355 nm nanosecond laser // Optics & Laser Technology. 2021. Vol. 133. P. 106565.
9. Moradi M., Karami Moghadam M., Shamsborhan M. et al. Simulation, statistical modeling, and optimization of CO2 laser cutting process of polycarbonate sheets // Optik. 2021. Vol. 225. P. 164932.
10. Hashemzadeh M., Mohammadi M. The Effect of Power and Maximum Cutting Speed on the Material Removal Rate and Cutting Volume Efficiency in CO2 Laser Cutting of Polycarbonate Sheets // Journal of Modern Processes in Manufacturing and Production. 2020. Vol. 9. P. 5–23.
11. Mushtaq R. T., Wang Y., Rehman M. et al. State-Of-The-Art and Trends in CO2 Laser Cutting of Polymeric Materials—A Review // Materials. 2020. Vol. 13. P. 3839.
12. Планшетный режущий плоттер BIGZEE CUTTER. URL: <https://cutter.bigzee.ru/> (дата обращения: 08.02.2022).
13. Chen W., Huang Z. C., Zhou C. Y. The development of the automatic spray glue machine and its control system // Mechanical engineer. 2012. Vol. 8. P. 72–74.
14. Wang Y. A., Xie X. P., Lu X. H. Design of a Double-Nozzle Air Spray Gun and Numerical Research in the Interference Spray Flow Field // Coatings. 2020. Vol. 10. P. 475.
15. Патент Республики Беларусь № 23357. Способ изготовления приборной шкалы и автоматизированная линия для его осуществления / Коляков В. И., Зиновенко В. С., Кириллов А. Г., Сакевич В. Н. ; зарег. 25.07.2019.

References

1. Cazac V., Cîrja J., Balan E., Mohora C. The study of the screen printing quality depending on the surface to be printed. *MATEC Web Conf.* 2018;178:03015.
2. Potapov Yu., Potapova U. *Mir trafaretnoy pechati: prakt. posobie = The world of screen printing: a practical guide.* Moscow: Gella-Print, 2001:112. (In Russ.)
3. *Vse o shelkografii: vidy, sposoby naneseniya, osobennosti = All about silkscreen printing: types, methods of application, features.* (In Russ.) Available at: <https://www.grizzlyb2b.ru/blog/vsye-o-shelkografii-vidy-sposoby-naneseniya-osobennosti/> (accessed 08.02.2022).
4. Wu Y.J. Color Reproduction Study on the Corrugated Packaging Using UV Wide-format Inkjet Printer. *NIP & Digital Fabrication Conference, Printing for Fabrication Online 2021 Final Program and Proceedings.* 2021:92–97.
5. Takatani T., Fujita K., Tanaka K. et al. Controlling translucency by UV printing on a translucent object. *IPSI Transactions on Computer Vision and Applications.* 2018;10:7.
6. Li K., Li T., Zhang T. et al. Facile full-color printing with a single transparent ink. *Science advance.* 2021;7:39.
7. *UF-printer Mimaki UJF-6042 MkII.* Available at: <https://www.ofitrade.ru/cat/plotters/uv/mimaki-ujf-6042-mkii/> (accessed 08.02.2022).
8. Wu C., Li M., Huang Y., Rong Y. Cutting of polyethylene terephthalate (PET) film by 355 nm nanosecond laser. *Optics & Laser Technology.* 2021;133:106565.
9. Moradi M., Karami Moghadam M., Shamsborhan M. et al. Simulation, statistical modeling, and optimization of CO2 laser cutting process of polycarbonate sheets. *Optik.* 2021;225:164932.
10. Hashemzadeh M., Mahammadi M. The Effect of Power and Maximum Cutting Speed on the Material Removal Rate and Cutting Volume Efficiency in CO2 Laser Cutting of Polycarbonate Sheets. *Journal of Modern Processes in Manufacturing and Production.* 2020;9:5–23.
11. Mushtaq R.T., Wang Y., Rehman M. et al. State-Of-The-Art and Trends in CO2 Laser Cutting of Polymeric Materials—A Review. *Materials.* 2020;13:3839.
12. *Planshetnyy rezhushchiy plotter BIGZEE CUTTER = Flatbed cutting plotter BIGZEE CUTTER.* (In Russ.). Available at: <https://cutter.bigzee.ru/> (accessed 08.02.2022).
13. Chen W., Huang Z.C., Zhou C.Y., The development of the automatic spray glue machine and its control system. *Mechanical engineer.* 2012;8:72–74.
14. Wang Y.A., Xie X.P., Lu X.H. Design of a Double-Nozzle Air Spray Gun and Numerical Research in the Interference Spray Flow Field. *Coatings.* 2020;10:475.
15. Patent Republic of Belarus № 23357. *Sposob izgotovleniya pribornoy shkaly i avtomatizirovannaya liniya dlya ego osushchestvleniya = A method of manufacturing an instrument scale and an automated line for its implementation.* Kolpakov V.I., Zinovenko V.S., Kirillov A.G., Sakevich V. N.; regist. 25.07.2019. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Татьяна Владимировна Бувевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и автоматизации производства,
Витебский государственный
технологический университет
(Республика Беларусь, г. Витебск,
Московский просп., 72)
E-mail: buevih.tv@gmail.com

Tat'yana V. Buevich

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department
of information systems and production automation,
Vitebsk State Technological University
(72 Moskovskiy avenue, Vitebsk, Republic of Belarus)

Алексей Геннадьевич Кириллов

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
и автоматизации производства,
Витебский государственный
технологический университет
(Республика Беларусь, г. Витебск,
Московский просп., 72)
E-mail: kirillov.malp@gmail.com

Aleksey G. Kirillov

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of the sub-department
of information systems and production automation,
Vitebsk State Technological University
(72 Moskovskiy avenue, Vitebsk, Republic of Belarus)

Валерий Николаевич Сакевич

доктор технических наук, профессор,
доцент кафедры физики и технической механики,
Витебский государственный
технологический университет
(Республика Беларусь, г. Витебск,
Московский просп., 72)
E-mail: igsakevich@yandex.ru

Valeriy N. Sakevich

Doctor of technical sciences, professor,
associate professor of the sub-department
of physics and technical mechanics,
Vitebsk State Technological University
(72 Moskovskiy avenue, Vitebsk, Republic of Belarus)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 22.04.2022

Поступила после рецензирования/Revised 23.05.2022

Принята к публикации/Accepted 22.06.2022