

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

УДК 621.31

DOI 10.21685/2307-5538-2020-4-3

*А. Г. Кириллов, В. Н. Сакевич*АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ШКАЛ
И ПОВЕРКИ ПРИБОРНЫХ ПАНЕЛЕЙ*A. G. Kirillov, V. N. Sakevich*AUTOMATED SYSTEM FOR MAKING THE FILM DIALS
AND VALIDATION OF THE INSTRUMENT PANELS

А н н о т а ц и я. *Актуальность и цели.* Повышение гибкости производственного процесса изготовления пленочных шкал с одновременным обеспечением высокой производительности возможно при использовании интегрированного подхода к разработке цифровых технологий печати и раскроя шкал, а также поверки готовых приборных панелей. Цель работы – применение технологии струйной печати с УФ-отверждением пленочных шкал для комбинированных приборных панелей и разработка на ее основе автоматизированного комплекса. *Материалы и методы.* Материалами исследования послужили разработки и исследования в области дизайна, изготовления и поверки приборных панелей. Для решения поставленных задач использовались методы компьютерного моделирования, системно-структурного подхода к разработке информационных систем, обработки изображений. *Результаты.* Разработана концепция автоматизированного комплекса печати и раскроя шкал и поверки приборных панелей, который включает в себя струйный принтер с УФ-отверждением, автоматическую раскройную машину, блок видеонаблюдения и принтер штрих-кода. Разработан программный комплекс системы управления автоматизированным комплексом. *Выводы.* Предложенный комплекс способен на основе цифровых технологий обеспечить изготовление пленочных шкал и поверку панелей приборов, повысить производительность и гибкость по сравнению с существующими аналоговыми способами печати шкал.

A b s t r a c t. *Background.* The enhancing of flexibility with simultaneous achievement of increased productivity for the of instrument panels film dials is possible by using the integrated approach to development of digital technologies for dials printing and cutting and finished instrument panels validation. The purpose of the work is to implicate the technology of inkjet printing with UV curing on film dials for combined instrument panels and design the automated system for manufacturing and validation. *Materials and methods.* Developments and researches on design, manufacturing and validation of instrument panels served as materials. Methods of computer modeling, a structured and systematic approach to design of information systems, image processing are used to meet those challenges. *Results.* The concept for automated system for dials printing and cutting and finished instrument panels validation was developed. The system includes inkjet printer with UV curing, automated cutter, video surveil-

lance unit and barcode printer. The software package for automated control system was developed. **Conclusions.** Proposed system based on digital technologies is capable of attending to film dials making and instrument panel validation as well as flexibility enhancing and productivity increasing comparing existing analog dials printing methods.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пленочная шкала, приборная панель, печать, раскрой, изготовление, поверка, автоматизированный комплекс.

К e y w o r d s: film dial, instrument panel, printing, cutting, manufacturing, validation, automated system.

Приборные панели широко применяются в различных транспортных средствах и предназначены для отображения визуальной информации о состоянии систем, измерения параметров движения и состояния двигателя, агрегатов и систем в рабочих режимах; контроля и диагностики неисправностей. Электронные приборные панели впервые пришли на смену аналоговым в середине 1980-х гг. вначале на автомобилях класса люкс, а по мере удешевления электронного блока управления и на бюджетных. Высокая информативность, настраиваемый дизайн и дружелюбный интерфейс, высокая функциональность, интеграция с другими электронными системами автомобиля, простота модернизации, высокая степень защиты информации – далеко не полный перечень преимуществ электронных приборных панелей. Функциональные возможности приборной панели автомобиля приобрели новое качество в связи с применением сенсорного экрана, который позволяет не только воспроизводить визуальную и звуковую информацию, но и взаимодействовать с системами автомобиля.

Однако использование электронной приборной панели на основе единого ЖК-дисплея имеет и ряд недостатков, к которым относятся неудовлетворительное качество изображения при солнечном или другом ярком свете, высокая стоимость и затраты при ремонте, низкая отказоустойчивость, низкая стойкость к механическим повреждениям. Приборная панель должна обеспечивать хорошее восприятие информации при различных условиях освещения, как в дневное, так и в ночное время. Так, традиционно приборные панели для лучшего восприятия в дневное время изготавливались в виде белых символов на черном фоне, в то время как для отображения в ночное время использовались флуоресцентные краски.

В связи с перечисленными недостатками большинство приборных панелей имеет комбинированную структуру: наряду с ЖК-дисплеем присутствуют стрелочные указатели, приводимые в движение от шаговых двигателей, и светодиодные индикаторы. Данная структура повышает отказоустойчивость системы управления в целом, которая при выходе из строя ЖК-дисплея остается работоспособной. Использование комбинированной приборной панели позволяет в несколько раз снизить стоимость по сравнению с электронной панелью, что обусловлено более сложным аппаратным и программным обеспечением последней.

Важную роль при восприятии водителем показаний приборов для измерения величин, таких как спидометр или тахометр, имеет вид их указателей. Так, указатели отличаются по форме (круговые, дуговые и линейные), расположению (горизонтальные и вертикальные), типу индикатора (стрелочные и линейные). Ряд исследований отмечают [1–4] преимущества восприятия водителем круговых стрелочных указателей по сравнению с другими их видами, особенно с цифровыми индикаторами, что принимается во внимание в том числе при создании виртуальных указателей на ЖК-дисплее.

Одним из важных элементов приборной панели, который во многом определяет ее внешний вид, эргономичность и информативность, является шкала. Термин «шкала» имеет два значения, согласно одному из которых это некоторая знаковая система, которая ставит в соответствие реальным объектам и событиям определенный графический элемент и его положение. В контексте же данной статьи под термином «шкала» понимается материальный носитель отмеченной знаковой системы, в качестве которого наиболее широко используется пленка из невпитывающего запечатываемого материала. Круговые шкалы также называют циферблатом. Материалом пленки служит пластик (поликарбонат, ПЭТ или др.), на который нанесены отметки, условные обозначения, маркировка и прочие графические элементы.

Для изготовления шкал приборных панелей могут использоваться различные технологии: ротогравировка, офсетная печать, флексография, литография, электрография, шелкография, химическое травление, тампография, лазерная гравировка, ультрафиолетовая печать, термоперенос и другое, каждая из которых обладает набором преимуществ и недостатков, критериями которых выступают производительность, качество, гибкость, условия применения.

Если в условиях традиционного промышленного производства важнейшим критерием являлась производительность, то в условиях цифровой экономики на первый план выходит гибкость производственного процесса на основе цифровых информационно-коммуникационных технологий и оптимизации рабочих процессов с использованием программно-аппаратных решений. Ассортимент и функциональные возможности выпускаемых приборных панелей постоянно обновляются, а тип производства новой продукции при этом зачастую является единственным и мелкосерийным. Цифровая печать шкал позволяет решить проблемы, связанные с эффективностью и гибкостью, а также затратами на подготовку производственного процесса.

Автоматизированный процесс изготовления шкал на пластиковой пленке согласно патенту [5] заключается в использовании печатной станции, станции нанесения защитной пленки, станции раскроя и станции проверки качества изготовления шкалы. Возможно применение также вакуумной формовки для придания шкале объемной формы. Изображение печатается на прозрачной пленке-основе с обратной стороны (рис. 1,а) посредством цифрового принтера, после чего с той же стороны на основу наклеивается прозрачная защитная пленка для придания шкале устойчивости к царапинам при установке шкалы на прибор.

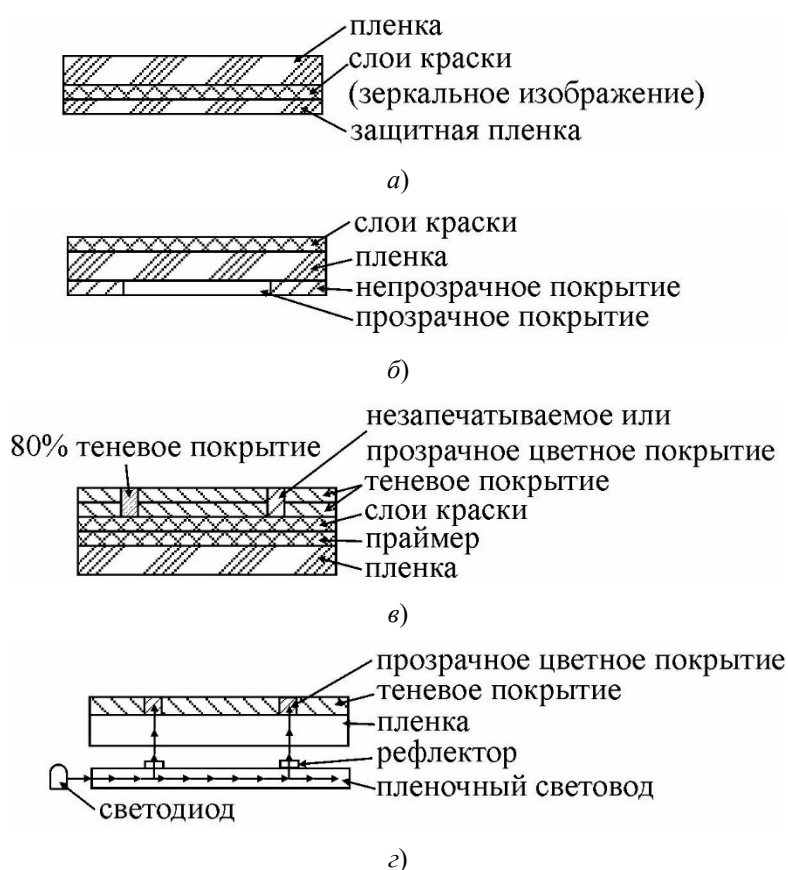


Рис. 1. Технологии печати пленочных шкал приборных панелей:

- а – технология печати с защитной пленкой;
- б – технология печати с двусторонним покрытием и УФ-отверждением;
- в – технология печати с использованием прозрачности для различного восприятия при наличии/отсутствии подсветки;
- г – технология печати с использованием пленочного световода

Изобретение [6] относится к методу изготовления приборных панелей посредством ультрафиолетовой струйной печати. Изображение формируется из непрозрачных и прозрачных

окрашенных элементов непосредственно на прозрачной пленке-основе (рис. 1,б) и после полимеризации под воздействием ультрафиолетового излучения приобретает устойчивость к царапанию. Возможно нанесение элементов изображения как с одной, так и с другой стороны пленки, а также формирование полупрозрачных элементов различной толщины для равномерного рассеяния света. При печати с УФ-отверждением во избежание растекания капель краски на пленке ультрафиолетовое облучение осуществляется одновременно с нанесением капель. Возможно использование матовой пленки для защиты от солнечных бликов, размещаемой поверх основной пленки. Формирование матового слоя может осуществляться на том же принтере, на котором формируется основное изображение посредством специальных красок либо методом шелкографии. В качестве УФ-отверждаемых красок могут использоваться акриловые радикальные или эпоксидные катионные, область применения которых имеет свои особенности и влияет как на сам процесс печати, так и на качество конечного результата. С обратной стороны зачастую используются области с непрозрачным черным покрытием и прозрачным белым.

Отображение различного набора индикаторов при наличии/отсутствии обратной подсветки приборной панели [7] достигается тем, что теневые слои черного цвета наносятся на заключительном этапе после цветных слоев, покрывая отдельные фрагменты (рис. 1,в). Для отображения индикаторов при включении обратной подсветки часть фрагментов наносится черным цветом, но только на площади, составляющей 80 % от общей площади фрагмента, а остальная часть площади наносится прозрачной краской. При этом индикаторы без подсветки не видны, так как черный цвет, смешанный с прозрачным, сливается с фоновым черным. Для остальных индикаторов фрагменты формируются прозрачной краской, в результате чего показатель полного светопропускания всех слоев составляет 40–60 %. Как отмечают авторы, подобные требования к наличию большого количества слоев, а также различной степени прозрачности слоев не позволяли длительное время перейти от шелкографии к струйной печати. Однако появление принтеров с УФ-отверждаемыми красками позволяет решить вопросы, связанные как с послойным нанесением различного числа слоев, так и формированием степени прозрачности слоев посредством разреженного нанесения капель.

Одним из направлений совершенствования приборных панелей является применение системы обратной подсветки на основе пленочного световода [8]. Для уменьшения габаритов системы подсветки и приборной панели в целом между печатной платой панели и пленочной шкалой размещается пленочный световод (рис. 1,г) с выгравированными на нем с помощью лазера рефлекторами света. Расположение источников света на пленочном световоде соответствует размещению прозрачных фрагментов на шкале, что позволяет значительно повысить качество отображаемой информации на приборной панели. В качестве источника света выступает один или несколько светодиодов.

Проведенный анализ исследований показывает, что перспективным и быстро развивающимся сегментом цифровой печати на металлических и неметаллических поверхностях является ультрафиолетовая струйная печать. Внедрение данной технологии печати, однако, сопряжено с рядом проблем, связанных в первую очередь с недостаточной изученностью влияния на процесс печати и качественные показатели готового изделия свойств материалов заготовки и расходных материалов, таких как краски и праймеры. Существует необходимость тщательного подбора соответствия красок и запечатываемого материала, что определяет применение в ряде случаев промежуточного слоя праймера. Наличие праймера улучшает общее качество печати ввиду увеличения толщины слоя, повышения впитываемости краски, уменьшения растекания капель (растискивания), повышения насыщенности цвета, усиления адгезии, увеличения твердости покрытия, экономии дорогостоящего красителя.

Приборная панель автомобиля с пленочной шкалой (рис. 2) содержит стрелочные указатели (спидометр и тахометр), информационные цветные светодиодные индикаторы, а также жидкокристаллический дисплей для отображения информации, отражающей состояние бортовой системы автомобиля. При нанесении краски на пластиковую пленку должны использоваться несколько различных цветов, полупрозрачность отдельных слоев, наличие клеевого слоя для приклеивания шкалы к прибору. Для подсветки указателей используется световод в виде пластины с матированными и прозрачными участками.



Рис. 2. Приборная панель автомобиля с пленочной шкалой

Каждый автомобиль имеет свой собственный дизайн приборной панели, которая может включать стрелочные указатели, такие как спидометр, тахометр, уровня топлива, температуры. Также используются различные индикаторы: сигналы поворота, фар, тормозов и т.д. Для отображения других параметров состояния бортовой системы используется цифровой дисплей. Зачастую при печати шкалы используется фиксированный набор из семи цветов: черный в качестве фона, белый, серый, красный, синий, желтый, зеленый.

При традиционно используемом при изготовлении шкалы щитка приборов методе шелкографии (трафаретной печати) каждый цвет наносится с использованием своей печатной формы. В связи с этим требуется дорогостоящая подготовка производства, окупаемость которого достигается только для большого тиража изготовления шкал. Палитра используемых при изготовлении цветов ограничивается от 6 до 20 в зависимости от используемого оборудования, а увеличение количества цветов приводит к необходимости изготовления дополнительных печатных форм и снижению производительности. Для нанесения каждого цвета зачастую требуется несколько проходов ввиду того, что краска наносится в несколько слоев и требуется высушивание предыдущего слоя перед нанесением последующего. При шелкографии применяются в основном два способа сушки и отверждения слоев краски: путем высыхания растворителя или окислительной полимеризации. Время нанесения одного цвета для типовой приборной панели может составлять 10–12 мин. Повышение производительности процесса достигается тем, что на пленке печатаются одновременно несколько шкал, что возможно для больших тиражей шкал. Недостатки технологии шелкографии связаны с неточностью размеров элементов изображения и нечеткостью их границ, неточностью позиционирования изображения на пленке, низким разрешением, нестабильной цветопередачей; в результате брак при печати шкал может достигать до 40 %.

К цифровым методам печати, получившим практическое применение, относятся лазерный (гравировальный и, электрофотографический) и импульсный струйный (пьезоструйный, термоэлектрический, электромеханический). В отличие от шелкографии, когда изображение вначале формируется на печатной форме, а затем переносится на пленку, с использованием цифровых методов изображение сразу же формируется на пленке. Цифровые технологии печати позволяют уменьшить время нанесения краски до 30 с на один цвет, повысить точность элементов и улучшить цветопередачу посредством смешения нескольких цветов, а также уменьшить время подготовки к печати и сделать процесс экономически эффективным для малых тиражей. Печать при этом возможна как на листовых, так и рулонных материалах, после чего выкраивается шкала требуемой формы, а также выполняются окна для приборов и отвер-

ствия для базирования шкалы на приборе. Запечатываемый материал (чаще всего поликарбонат) после нанесения слоев прозрачных элементов обладает показателем полного светопропускания в диапазоне 40–60 %. Краски содержат в своем составе пигмент, связующее вещество, сиккатив и вспомогательные вещества.

Изготовления шкалы и фиксации ее на приборной панели является заключительной операцией в процессе изготовления приборной панели, после чего выполняется общая проверка ее качества изготовления.

Предложенный автоматизированный технологический комплекс [9] (рис. 3) содержит аппаратную и программную части. Программная часть включает систему управления технологическими процессами печати и раскроя шкал, режимами работы приборной панели и ее проверки, печати этикеток со штрих-кодом. В аппаратную часть комплекса входит оборудование для печати и раскроя шкал и проверки приборов. Структура системы для проверки приборов описана в работе [10]. Характеристики УФ-принтера во многом определяют показатели производительности, гибкости и качества всего комплекса.

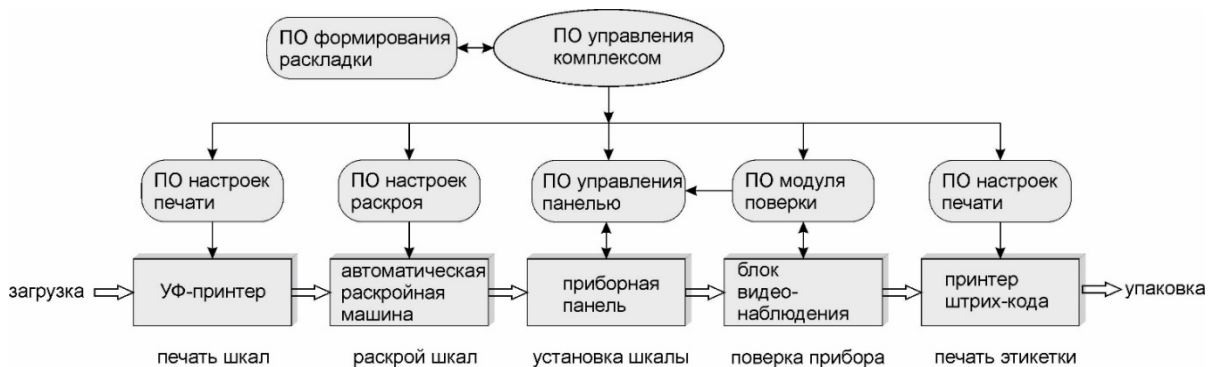


Рис. 3. Схема автоматизированного технологического комплекса для изготовления пленочных шкал и проверки приборных панелей

Аппаратная часть построена по модульному принципу и включает ряд единиц оборудования с микропроцессорным управлением: струйный принтер с УФ-отверждением, автоматическую раскройную машину, блок видеонаблюдения и принтер штрих-кода. Перечисленное оборудование имеет проприетарное программное обеспечение для задания различных режимов работы и выполнения различных настроек, что затрудняет интеграцию оборудования в состав автоматизированного комплекса. Закрытость поставляемого с оборудованием программного обеспечения приводит к необходимости разрабатывать дополнительные скриптовые приложения для автоматизации приложений с графическим пользовательским интерфейсом (GUI). Соответствующие скриптовые приложения на языке разработаны отдельно для изменения настроек УФ-принтера, настроек автоматической раскройной машины и настроек принтера штрих-кода. Отдельные программные модули выполняют формирование команд управления для передачи в аппаратную часть и чтение сообщений от проверяемой приборной панели.

ПО формирования раскладки, разработанное на языке C#, считывает информацию о слоях изображения приборной панели из файла векторного формата CorelDraw и формирует новое изображение путем размещения копий исходного изображения на листе формата A2. Также на результирующее изображение раскладки добавляются специальные метки, предназначенные для автоматического определения положения листа при его раскрое. Автоматическая раскройная машина оснащена системой технического зрения, которая считывает положение меток и позволяет минимизировать погрешности, вызванные смещениями листа при его ручной заправке.

ПО управления приборной панелью использует среду передачи данных на основе интерфейса локальной сети контроллеров CAN для передачи сигналов управления стрелочными указателями, светодиодными индикаторами, камерами и т.д.

ПО модуля проверки использует систему технического зрения для контроля соответствия углового положения стрелочных указателей с уровнем сигнала; соответствия цвета, располо-

жения и состояния светодиодных индикаторов с управляющими сигналами; работоспособности камер и т.д. По результатам работы модуля проверки выводится заключение о работоспособности проверяемых электронных элементов приборной панели.

Блок видеонаблюдения служит для видеосъемки приборной панели и передачи цифрового видео в режиме реального времени для обработки ПО модуля проверки.

Необходимость интеграции оборудования в состав единого комплекса с единой системой управления вызвана тем, что режимы работы технологического оборудования тесно взаимосвязаны друг с другом и определяются видом изготавливаемой шкалы. Устройство и принцип действия автоматизированного технологического комплекса позволяют применить единое программное обеспечение для управления технологическим процессом, контроля параметров приборной панели, диагностики отдельных компонентов комплекса.

Использование комплекса позволяет обеспечить баланс между производительностью и гибкостью посредством применения компьютерных технологий и достичь высокой степени адаптации к быстроизменяющемуся рыночному потребительскому спросу. Процесс подготовки производства при модернизации существующей панели прибора или освоении новой сводится к разработке дизайна шкалы в векторном виде и алгоритма проверки панели прибора посредством системы технического зрения.

Применение предложенного комплекса для печати и раскроя пленочных шкал, а также проверки приборной панели позволяет повысить производительность и гибкость по сравнению с существующими аналоговыми способами печати шкал.

Библиографический список

1. Kim, S.-H. Vehicle instrument cluster layout differentiation for elderly drivers / S. H. Kim // Journal of the ergonomics society of Korea. – 2016. – Vol. 35 (5). – P. 449–464.
2. Green, P. Practical aspects of prototyping instrument clusters / P. Green, A. Olson // SAE transactions. – 1996. – Vol. 105. – P. 657–670.
3. Analogue versus Digital Speedometer: Effects on Distraction and Usability for Truck Driving / M. Francois, F. Osiurak, A. Fort, P. Crave, J. Navarro // Conference: Proceedings of european conference on human centred design for intelligent transport systems. – Loughborough, UK, 2016. – P. 18–26.
4. Francois, M. Gauges design for a digital instrument cluster: Efficiency, visual capture, and satisfaction assessment for truck driving / M. Francois, F. Osiurak, A. Fort, P. Crave, J. Navarro // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2019. – Vol. 7. – P. 290–297.
5. US patent 0157008 A1. Plastic film instrument cluster overlays and method of making / Johny G. Cooper, John D. Andersen. – 12.08.2004.
6. US patent 7435470 B2. Indicator panel for instrument and method of manufacturing the same / Y. Mig-taka, T. Iwase, M. Takahira. – 14.10.2008.
7. US patent 6856478 B1. Indicator panel for vehicle instrument panel and method of manufacture thereof / T. Miyanishi, T. Ohta. – 15.01.2005.
8. US patent 0016510 A1. Light guide film applied at instrument cluster / H. M. Alvarado. – 21.01.2006.
9. Заявка на патент № 20190224. Способ изготовления приборной шкалы и автоматизированная линия для его осуществления / Колпаков В. И., Зиновенко В. С., Сакевич В. Н., Кириллов А. Г. – 25.06.2019.
10. Kirillov, A. G. Automated laser engraving system for the calibration and manufacturing of nonlinear scales for electrical measuring instruments / A. G. Kirillov, V. N. Sakevich, R. Trochimczuk ; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E // Journal of Process Mechanical Engineering. – 2018. – DOI 10.1177/0954408918812248.

References

1. Kim S.-H. *Journal of the ergonomics society of Korea*. 2016, vol. 35 (5), pp. 449–464.
2. Green P., Olson A. *SAE transactions*. 1996, vol. 105, pp. 657–670.
3. Francois M., Osiurak F., Fort A., Crave P., Navarro J. *Conference: Proceedings of european conference on human centred design for intelligent transport systems*. Loughborough, UK, 2016, pp. 18–26.
4. Francois M., Osiurak F., Fort A., Crave P., Navarro J. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2019, vol. 7, pp. 290–297.
5. US patent 0157008 A1. *Plastic film instrument cluster overlays and method of making*. Johny G. Cooper, John D. Andersen. 12.08.2004.
6. US patent 7435470 B2. *Indicator panel for instrument and method of manufacturing the same*. Y. Mig-taka, T. Iwase, M. Takahira. 14.10.2008.

7. US patent 6856478 B1. *Indicator panel for vehicle instrument panel and method of manufacture thereof*. T. Miyanishi, T. Ohta. 15.01.2005.
8. US patent 0016510 A1. *Light guide film applied at instrument cluster*. H. M. Alvarado. 21.01.2006.
9. *Zayavka na patent № 20190224. Sposob izgotovleniya pribornoy shkaly i avtomatizirovannaya liniya dlya ego osushchestvleniya* [Patent application no. 20190224. Method of manufacturing the instrument scale and automated line for its implementation]. Kolpakov V. I., Zinovenko V. S., Sakevich V. N., Kirillov A. G. 25.06.2019.
10. Kirillov A. G., Sakevich V. N., Trochimczuk R.; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E *Journal of Process Mechanical Engineering*. 2018. DOI 10.1177/0954408918812248.

Кириллов Алексей Геннадьевич

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

Kirillov Alexey Gennadievich

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

Сакевич Валерий Николаевич

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

Sakevich Valeriy Nikolaevich

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

Образец цитирования:

Кириллов, А. Г. Автоматизированный комплекс для изготовления плечных шкал и поверки приборных панелей / А. Г. Кириллов, В. Н. Сакевич // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 4 (34). – С. 27–34. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-4-3.