

2. Сви́нарев В. С., Шульженко Е. В., Горбунова Е. С. Факторы, влияющие на климат безопасности труда в строительном производстве // Перспективы науки. 2020. № 11(134). С. 279–281.

3. Федорец А. Г. Сравнительный анализ подходов к обеспечению безопасности труда // Безопасность и охрана труда. 2013. № 1. С. 16–32.

4. Данелян Т. Я. Формальные методы экспертных оценок // Экономика, статистика и информатика. 2015. № 1. С. 183–186.

5. Златопольский Д. Основы программирования на языке Python. М.: ДМК-Пресс, 2018.

6. Прохоренко Н. А., Дронов В. А. Python 3 и PyQt5. Разработка приложений. СПб.: БХВ-Петербург, 2017.

7. Гринберг М. Разработка веб-приложений с использованием Flask на языке Python. М.: ДМК-Пресс, 2016.

8. Дакетт Дж. HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов. М.: Эксмо, 2020.

A. S. Bukunov

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University

WEB-BASED AUTOMATION OF THE SAFETY ASSESSMENT PROCESS AT THE CONSTRUCTION OBJECT

An automated system which makes it possible to significantly simplify the process of assessing the safety status of construction objects during inspections, is described. The system is a web application that allows on-line calculation of the integral safety indicator based on the ratings given by the participants in the audit. The application is based on a quantitative method for assessing the level of safety at a construction object using multifactorial analysis. Four groups of factors have been identified that affect safety during construction work. Corresponding indicators were selected for each factor. All indicators are assessed by the inspectors on a three-point scale during the inspection. The system is implemented as a web-application developed by Python programming language using Flask framework. To solve a some of problems, the such languages as HTML and CSS were used. The system does not require the installation of additional software. Access to the Internet need to use the system only.

Business process automation, computer-aided information system, multifactorial analysis, web-application

УДК. 004.514

В. А. Киселёва, Е. С. Новикова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Построение панели мониторинга состояния сложного объекта на основе вложенной модели проектирования графического представления данных

Потребность в графическом обобщении и сжатии информации набирает актуальность в условиях активного роста объема производимых данных и скорости их поступления. Использование методик визуализации позволяет ускорить процесс принятия решений, облегчить понимание сложных закономерностей в данных и поиск отклонений. В статье исследуется подход к проектированию панели управления для мониторинга состояния станка с числовым программным управлением в режиме реального времени, основанный на вложенной модели проектирования визуализации. Освещен полный цикл разработки системы визуализации, включающий в себя описание требований к моделям визуализации, формирование формализованного описания задач и данных, визуальное кодирование и разработку алгоритмов предобработки данных и их графического представления. Проведена оценка эффективности тепловых карт и линейных графиков при решении задачи определения состояния инструмента после завершения процесса обработки деталей.

Мониторинг в реальном времени, визуализация потока данных, вложенная модель визуализации, тепловые карты, линейные графики с временной шкалой

Визуализация данных представляет собой эффективный способ коммуникации информации и при правильном выборе способа ее графического

представления позволяет решать задачи анализа эффективно и в более краткие сроки. Она позволяет аналитику сфокусироваться на важной инфор-

мации, помогает выявить взаимосвязи и представляет исторический контекст. В настоящее время визуальная аналитика представляет собой междисциплинарное научное направление, объединяющее методы визуализации и интеллектуального анализа данных. Методики визуальной аналитики, предполагающие решение задач анализа данных при помощи интерактивного визуального интерфейса, весьма перспективны и занимают важное место среди методов анализа данных [1].

Эффективность применения методик визуализации для решения различных аналитических задач определяется тем, как исходные данные отображаются в графических примитивах для представления конечному пользователю. С одной стороны, необходимо ограничить объем информации, предоставляемый пользователю, в силу ограниченности когнитивных способностей человека, а с другой стороны, дать ему возможность погрузиться в данные и понять их.

Существует ряд методических рекомендаций по проектированию эффективных моделей визуализации данных, которые определяют наиболее подходящие способы визуализации для разных типов исходных данных или решаемых задач [2]–[4]. В частности, в [2] представлены рекомендации по проектированию моделей визуализации с точки зрения их пользователей и с точки зрения их разработчиков. Однако наиболее полная модель проектирования моделей визуализации представлена в [5], так как она определяет основ-

ные этапы, начиная от формирования требований к проектируемой модели визуализации и заканчивая оценкой вычислительной эффективности алгоритмов ее построения и обработки данных.

В настоящей статье представлена методика проектирования панели мониторинга состояния сложного объекта, основанная на вложенной модели проектирования визуализации, описанной в [5]. Статья структурирована следующим образом. В первом разделе представлена вложенная модель проектирования систем визуализации данных, во втором обсуждаются аспекты ее практического применения на примере проектирования панели мониторинга состояния сложного объекта, а также выбор модели визуализации для определения состояния инструмента. Далее представлены основные выводы.

Вложенная модель проектирования моделей визуализации данных. Вложенная модель (nested model) проектирования моделей визуализации данных и систем визуального анализа была разработана американским ученым в области визуального анализа данных Т. Мюнцнер в 2009 г. [5]. Идея модели заключается в разделении процесса проектирования визуализации на четыре вложенных уровня:

- описание требований к моделям визуализации на основе анализа предметной области решаемой задачи;
- формирование формализованного описания задач и входных данных;

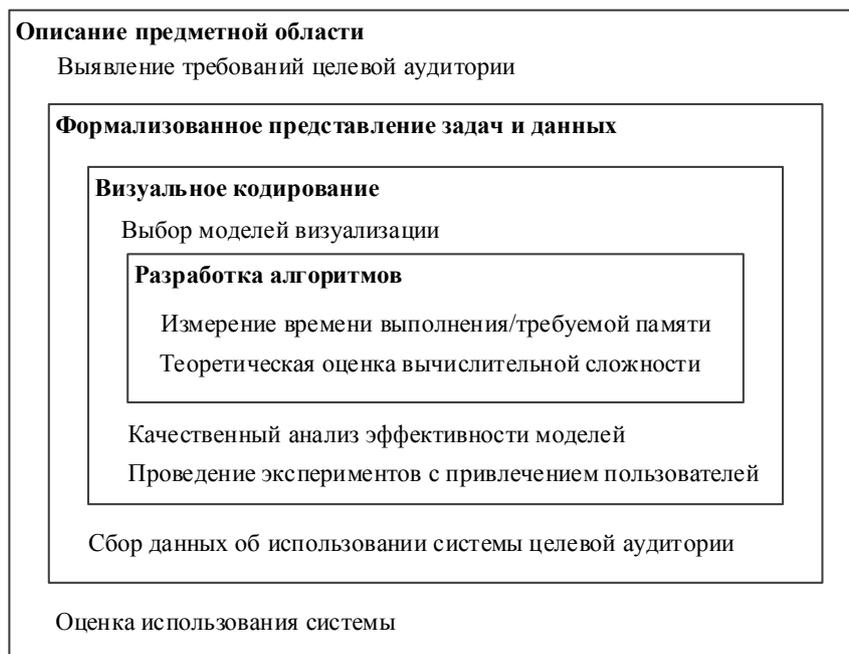


Рис. 1

- визуальное кодирование;
- разработка алгоритмов предобработки данных и их графического представления.

Схема вложенных уровней представлена на рис. 1. Приведенный порядок шагов призван оптимизировать процесс проектирования моделей визуализации данных, а также минимизировать вероятность создания неэффективных способов их графического представления, не удовлетворяющих задачам пользователей. Данные на выходе внешнего уровня служат входными данными вложенного, поэтому ошибки на вышестоящих шагах неизбежно влияют на все нижележащие уровни.

Процесс разработки системы визуализации носит циклический характер. На каждом этапе создания вложенной модели визуализации в процессе проектирования системы активно участвуют пользователи системы и специалисты в предметной области. Благодаря непрерывному взаимодействию разработчика и целевой аудитории формируется правильное понимание задач и происходит валидация описания предметной области.

Разработка панели мониторинга состояния сложного объекта на примере мониторинга станков с ЧПУ. В качестве объекта мониторинга был выбран процесс изготовления детали станком с ЧПУ. Данный объект описывается множеством параметров, которые определяют текущее состояние процесса при изготовлении S-образной детали и дают возможность оценить результат его завершения по совокупности. В качестве исходных данных был выбран датасет, представленный на Kaggle [6], включающий серию экспериментов по изготовлению деталей с различными результатами завершения процесса – эксперимент завершился успешно или неуспешно, инструмент изношен или не изношен, а также фиксировались данные о силе зажима клемм станка.

Описание требований к моделям визуализации на основе анализа предметной области решаемой задачи. Задача, сформулированная на

Kaggle и связанная с предсказанием результата завершения процесса изготовления детали, определила основные требования к проектируемой панели мониторинга состояния станка ЧПУ:

- отображение параметров, характеризующих состояние станка ЧПУ при изготовлении детали в режиме реального времени;
- отображение информации на одном экране;
- обеспечение возможности визуального анализа информации для предсказания возможного результата процесса изготовления детали;
- возможность исследования всего массива данных с помощью методик взаимодействия.

Предлагаемая UML-диаграмма вариантов использования панели управления представлена на рис. 2. Под негативными тенденциями понимаются тенденция завершения эксперимента с ошибкой или ухудшение физического состояния станка.

Формирование формализованного описания задач и данных. Состояние процесса описывается 45 числовыми параметрами, которые по своей семантике делятся на 3 группы – механические (позиция, скорость, ускорение детали или шпинделя), электрические (ток в обратной связи, напряжение шины постоянного тока, выходной ток, выходное напряжение, выходная мощность) и программные (текущий этап, выполняемая строка G-кода, скорость подачи шпинделя, давление зажима) параметры выполнения процесса изготовления детали. Механические и электрические параметры – непрерывные, в то время как программные – дискретные. В используемом датасете имеется также 2 целевые переменные, которые характеризуют результат эксперимента (завершен без ошибки/завершен с ошибкой) и состояние станка после его завершения (изношен/не изношен), однако не описываются в явном виде физическими параметрами. Цель проектируемой панели мониторинга – дать пользователю возможность спрогнозировать значения данных переменных, поэтому выбранные модели визуализации должны поддерживать решение этой задачи.

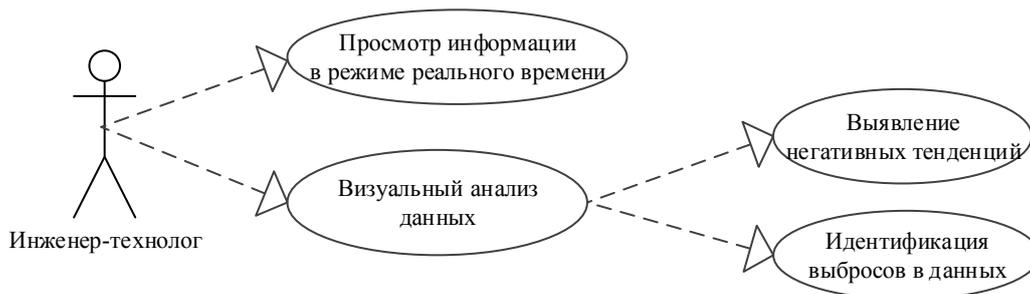


Рис. 2

Для определения набора отображаемых параметров был выполнен корреляционный анализ, результат которого представлен на рис. 3. Корреляционная матрица позволила выявить 9 пар переменных, описывающих механические параметры станка – позицию, скорость, ускорение детали или шпинделя – с сильной корреляционной связью. Эти параметры характеризуют заданное (эталонное) и текущее значения механических параметров станка, поэтому было принято решение вычислить разницу параметров эталонного и текущего значений и оценивать отклонение реального положения от эталонного. Такое решение дало возможность снизить количество отображаемых параметров. Корреляционный анализ также позволил выявить связь между текущими механическими параметрами и параметрами, характеризующими текущее электропотребление станка. Для того чтобы оценить электрические параметры в контексте текущего состояния механики станка, авторы предложили сгруппировать их на одной вкладке, добавив в их группу только отклонение текущего значения от эталонного для параметров, с которыми была обнаружена корреляционная связь выше 0.8.

Формирование моделей визуализации. Выбор неподходящего средства отображения информации – одна из самых распространенных ошибок дизайна не только панелей мониторинга, но и всех форм представления количественных данных.

На основе вышеприведенного описания набора данных, получаемых от станка, корреляционного анализа и требований были предложены следующие способы отображения данных:

- линейные графики, строящиеся в реальном времени на основе разницы между реальным и эталонным значениями параметра (рис. 3, *а* и *б*);
- тепловые карты, строящиеся в реальном времени на основе разницы между реальным и эталонным значениями параметра (рис. 3, *в*);
- спарклайны – небольшие линейные графики, дающие возможность увидеть общую картину;
- график реальных и эталонных координат на осях X , Y и Z , по которым движется шпиндель.

На рис. 3, *а* и *б* представлены линейные графики, отличающиеся способом маркировки значимых отклонений: на рис. 3, *а* для обозначения отклонения используется маркер под осью времени, а на рис. 3, *б* – заливка цветом.

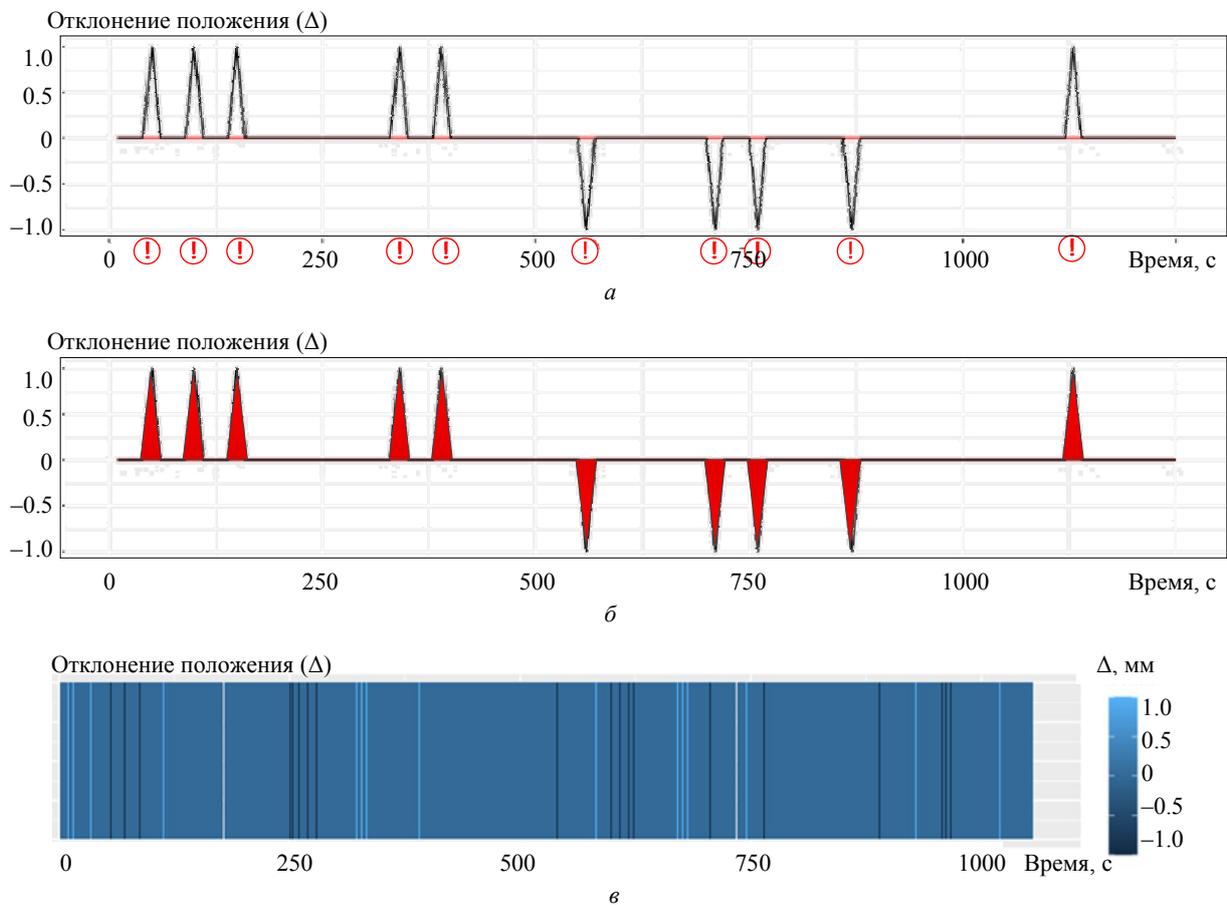


Рис. 3

Кроме выбора моделей визуализации данных также обсуждался способ их организации на экране. В качестве способов организации визуализации для мониторинга данных в режиме реального времени чаще всего используются мнемосхемы и панели управления (дашборды). Панель управления – это интерфейс, который предназначен для контроля состояния объекта в реальном времени, при этом на каждом этапе пользователь может управлять процессом обработки. Мнемосхема – это интерфейс, представляющий структуру описываемой системы в виде технологической схемы (условное изображение совокупности элементов оборудования и связи между ними) без соблюдения масштаба. Данный способ организации наиболее эффективен для отображения сложной технологической схемы [6].

Ключевые свойства данных способов организации визуализации, рассмотренные в контексте сформированных требований, представлены в табл. 1. Результаты сравнения свойств и требований показали, что наиболее подходящим способом организации графической информации для сформулированной задачи является панель управления.

На основе выделенных типов графиков было создано несколько макетов графического интерфейса пользователя, отличающихся различными моделями визуализации и способами их размещения на экране. Однако для разработанных макетов можно выделить ряд общих элементов:

- полоса прогресса обработки в верхней части экрана;
- панель графиков реальных и эталонных координат в нижней левой части экрана;
- панель с линейными графиками отклонений в нижней правой части экрана.

Полоса прогресса обработки деталей заполняется в реальном времени на основе данных от станка. Если на этапе обработки возникла проблема, то этот этап выделяется оранжевой рамкой, сигнализируя пользователю об ошибке. Панель графиков реальных и эталонных координат показывает ход шпинделя в трех плоскостях и отображает отклонение его курса от заданного программой. Таким образом, при первом взгляде на данные графики инженер-технолог будет способен сделать вывод о наличии проблем, касающихся износа станка или недостаточной фиксации детали. Панель с линейными графиками показывает отклонение реальных значений параметров позиции, скорости и ускорения от эталонных.

Качественный анализ эффективности моделей визуализации. Для определения наиболее релевантного макета были опрошены эксперты ПАО «Интелтех», специализирующегося на проведении научных исследований, разработке и производстве оборудования для автоматизированных систем управления и связи, и лаборатории проблем компьютерной безопасности СПб ФИЦ РАН.

Эксперты отметили, что спарклайны по бокам графиков реальных и эталонных координат отвлекают внимание пользователя и замедляют процесс принятия решений из-за ориентации и некорректного построения. Определение исторического контекста отклонений реальных значений от эталонных затрудняется из-за разной длины временных осей графиков отклонений $X1$, $Y1$, $Z1$ и шпинделя и их табличного расположения. Было отмечено, что данные электрических параметров критически важны, поэтому они должны присутствовать в интерфейсе дашборда.

Таблица 1

Критерий сравнения	Мнемосхема	Панель управления	Требования
Задача	Мониторинг состояния	Мониторинг и анализ данных	Мониторинг и анализ данных
Исследуемый объект	Обычно физический объект или система объектов	Любой объект или система объектов, в том числе абстрактный объект	Данные от станка с ЧПУ
Требуется знание внутреннего устройства исследуемого объекта	Да, используется схематическое представление устройства	Нет	Нет информации
Предобработка данных	Нет	Выполняется в зависимости от типа панели управления	Да
Вся информация на одном экране	Да	Да	Да
Отслеживание информации в реальном времени	Да	Да	Да
Возможность обнаружения тенденций в данных	Нет	Да	Да
Возможность быстрого анализа	Да	Да	Да
Интерактивность	Да	Да	Да

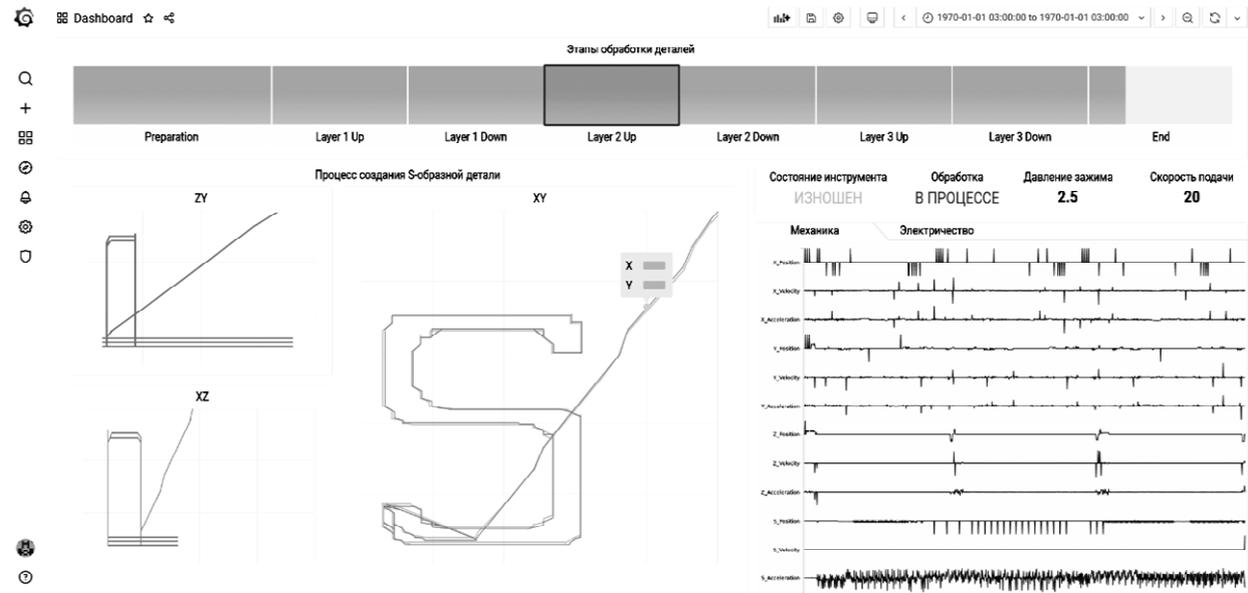


Рис. 4

По механизмам взаимодействия эксперты предложили фильтровать данные в панели графиков отклонений таким образом, чтобы вниманию пользователя были доступны только критичные и аномальные значения (например, с использованием правила трех сигм или стандартизованной оценки). По моделям визуализации было предложено привести графики отклонений к единой временной оси для ускорения исследования данных, а также отказаться от использования спарклайнов по бокам графиков реальных и эталонных координат во избежание информационного зашумления.

С учетом оценок экспертов был построен программный макет, скриншот которого представлен на рис. 4. В данном макете сохраняются полоса прогресса обработки деталей и панель графиков реальных и эталонных координат шпинделя в трех плоскостях. В правой части экрана появляется панель с программными значениями станка (давление зажима и скорость подачи шпинделя), а также с изменяющимися во времени значениями (данные о состоянии инструмента и процессе обработки детали). Ниже расположена панель графиков в реальном времени, на которой располагаются линейные графики, имеющие общую временную ось, что облегчит выявление закономерностей в появлении отклонений в значениях параметров.

Оценка эффективности тепловых карт и линейных графиков. Для определения наиболее понятной модели отображения отклонений реальных значений от эталонных для прогнозирования возможных значений целевых переменных (состояние

станка после завершения эксперимента и его результат) на основе визуального анализа данных был проведен опрос бакалавров и магистров по направлению «Информационные системы и технологии» СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Результаты экспериментов, представленные в форме линейных графиков и тепловых карт, следовало разделить на 3 группы:

- инструмент не изношен, давление зажима нормальное;
- инструмент изношен, давление зажима нормальное;
- инструмент не изношен, давление зажима низкое.

По результатам тестирования была построена матрица ошибок и рассчитаны F-меры, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Признак	F-мера	
	Линейные графики	Тепловые карты
Инструмент не изношен, давление зажима нормальное	0.528	0.540
Инструмент изношен, давление зажима нормальное	0.547	0.612
Инструмент не изношен, давление зажима низкое	0.532	0.634

Тепловые карты оказались более эффективны для определения состояния станка на момент завершения процесса обработки деталей. Было принято решение об использовании тепловых карт в интерфейсе панели управления как наиболее наглядной и читаемой модели отображения.

В статье был рассмотрен подход к построению панелей управления, в основе которого лежит вложенная модель проектирования визуализации. Был пройден полный цикл разработки системы визуализации, включающий в себя описание требований к моделям визуализации, формирование формализованного описания задач и данных, визуальное кодирование и разработку алгоритмов предобработки данных и их графического представления. На этапах проектирования панели управления проводились опросы экспертов и тестирование потенциальных пользователей, которые позволили скорректировать процесс разработки. Была проведена оценка эффективно-

сти тепловых карт и линейных графиков при решении задачи определения состояния инструмента после завершения процесса обработки деталей. Результаты данной оценки показали, что тепловые карты являются наиболее эффективной моделью визуализации для решения данной задачи, следовательно, их можно использовать для поддержки пользователей при определении состояния инструмента после завершения процесса; графические особенности тепловой карты могут служить входными данными при обучении моделей анализа для автоматического определения состояния машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ware C. Information visualization: Perception for design. Massachusetts: Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
2. Kelleher C., Wagener T. Ten guidelines for effective data visualization in scientific publications // Environmental Modelling & Software. 2011. № 26(6). P. 822–827.
3. Zelazny G. Say it with charts: The executive's guide to visual communication. Ohio: McGraw-Hill Education, 2001.

4. Tufte E. The visual display of quantitative information. NY: Graphics Press, 2001.
5. Munzner T. Visualization analysis and design. A K Peters Visualization Series. Boca Raton, Florida, United States of America: CRC Press, 2014.
6. Data set for tool wear detection. URL: <https://www.kaggle.com/shasun/tool-wear-detection-in-cnc-mill> (дата обращения 02.07.21).

V. A. Kiseleva, E. S. Novikova
Saint Petersburg Electrotechnical University

DESIGNING A CONTROL PANEL FOR MONITORING THE STATE OF A COMPLEX OBJECT BASED ON A NESTED DESIGN MODEL OF DATA VISUALIZATION

The need for graphical summarization and compression of information is gaining urgency with the active growth of the volume of produced data. The use of visualization techniques can speed up the decision-making process, make it easier to understand complex patterns in the data and find deviations. This paper explores an approach to designing a control panel for monitoring the state of a numerically controlled machine tool in real time, based on a nested visualization design model. The full cycle of development of a visualization system is covered, including a description of the requirements for visualization models, the formation of a formalized description and data tasks, visual coding and algorithms for preprocessing data and their graphical presentation. An assessment of the efficiency of heat maps and line graphs in solving the problem of determining the state of the tool after the completion of processing of parts is carried out.

Real-time monitoring, data flow visualization, nested visualization model, heatmaps, timeline charts