

УДК 004.9, 004.42

А. С. Букунов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Автоматизация процесса оценки безопасности на строительной площадке с помощью веб-технологий

Описывается автоматизированная система, которая позволяет существенно упростить процесс оценки состояния безопасности на строительных площадках при проведении проверок. Система представляет собой веб-приложение, которое позволяет в режиме online рассчитать интегральный показатель безопасности на основе оценок, выставленных участниками проверки. В основу работы приложения положен количественный метод оценки уровня безопасности на строительном объекте, использующий многофакторный анализ. Выделено четыре группы факторов, влияющих на безопасность при проведении строительных работ. Для каждого фактора отобраны соответствующие показатели. Все показатели оцениваются проверяющими по трехбалльной шкале во время проведения проверки. Система реализована в виде веб-приложения, написанного на языке Python с помощью фреймворка Flask. Для решения некоторых задач использовались языки HTML и CSS. Работа с приложением не требует установки дополнительного программного обеспечения, для этого достаточно наличия доступа к сети Интернет.

Автоматизация бизнес-процессов, автоматизированная информационная система, многофакторный анализ, веб-приложение

Постоянно возрастающий уровень техногенных рисков требует системного подхода к управлению в области охраны труда. Главная цель государственной политики в области охраны труда заключается в сохранении жизни и здоровья работников в процессе их трудовой деятельности [1]. Для достижения этой цели все организации, занимающиеся строительством, на основе российского законодательства и международных стандартов разрабатывают и используют систему управления охраной труда (СУОТ). К основным звеньям такой системы относится контроль выполнения правил охраны труда (ОТ) и требований техники безопасности (ТБ) [2]. Такой контроль осуществляется в виде проверок, проводимых с разной периодичностью руководителями разных уровней, а также представителями надзорных органов. В настоящее время система проверок в сфере охраны труда, включающая в себя, как правило, три уровня (ступени) контроля, признана эффективным инструментом контроля состояния безопасности строительного объекта [3]. Возможным способом повышения эффективности таких проверок может быть разработка автоматизированных информационных систем в виде веб-приложений. Наличие такого приложения позволит проверяющим получить оперативную оценку

общего состояния безопасности на строительной площадке. Работа с таким приложением может проводиться непосредственно на строительном объекте с помощью любого устройства, имеющего доступ к сети Интернет.

Цель разработки. Цель данной статьи заключается в создании веб-приложения для оценки в режиме online состояния безопасности на строительном объекте.

Метод количественных оценок состояния безопасности. Для эффективного контроля негативных факторов в рамках автоматизированной информационной системы необходимо сначала разработать подсистему оценки этих факторов. Такой подход позволит контролировать максимальное количество выявленных источников риска и, за счет непрерывного поступления в систему актуальной и достоверной информации, своевременно реагировать на выявленные проблемы [4].

В ходе исследования было выяснено, что на безопасность процесса строительства оказывают влияние четыре группы факторов:

- факторы производственных территорий (окружающей среды);
- информационно-управляющие факторы;
- человеческий фактор;
- факторы инструментальной части.

Предлагается описать иерархическую модель безопасности строительного процесса кортежем $\{\{T\}, \{Q\}, \{P\}, \{M\}\}$, в котором:

- $\{T\} = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ – совокупность факторов производственных территорий;
- $\{Q\} = \{q_1, q_2, \dots, q_i\}$ – совокупность информационно-управляющих факторов;
- $\{P\} = \{p_1, p_2, \dots, p_j\}$ – совокупность человеческих факторов;
- $\{M\} = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$ – факторы инструментальной части.

Тогда общий уровень безопасности процесса строительства можно определить с учетом весовых коэффициентов для каждой группы факторов:

$$S = C_T S_T + C_Q S_Q + C_P S_P + C_M S_M, \quad (1)$$

где S_T, S_Q, S_P, S_M – уровни безопасности производственных территорий, информационно-управляющей составляющей, человеческого фактора, инструментальной части; C_T, C_Q, C_P, C_M – весовые коэффициенты значимости факторов производственных территорий, информационно-управляющих факторов, человеческого фактора, факторов инструментальной части; S – коэффициент безопасности.

При этом для весовых коэффициентов в формуле (1) выполняется следующее условие:

$$C_T + C_Q + C_P + C_M = 1. \quad (2)$$

Значения всех весовых коэффициентов из (2) задаются проверяющими экспертами при проведении проверки.

Экспертное оценивание удобно проводить с помощью опросных листов. Каждый такой лист может представлять собой таблицу из трех столбцов, например «Показатель», «Норма», «Оценка». В первом столбце такой таблицы записывается наименование проверяемого показателя, во втором – его нормативное значение, а в третьем – оценка данного показателя экспертом. Возможный вариант опросного листа для оценки обеспе-

ченности средствами индивидуальной защиты представлен в табл. 1.

Поскольку для оценки общего уровня безопасности необходимо оценивать большое количество различных показателей, таких таблиц может быть достаточно много. Для повышения эффективности процесса заполнения таблиц экспертами, а также для облегчения и ускорения получения конечного результата в рамках разработанного веб-приложения опросные листы были реализованы в виде специальных форм.

Различные показатели можно объединить в группы по рассмотренным факторам. В результате такой группировки каждому i -му показателю (из p показателей) в каждой m -й группе показателей (из u групп), каждым n -м экспертом на n -й ступени проверки (из v ступеней) в каждой j -й проверяемой таблице (из q таблиц) выставляется оценка от нуля до единицы, например

$$K_{ijmn} = \begin{cases} 0 \\ 0.5 \\ 1 \end{cases}$$

Здесь каждой оценке ставится в соответствие степень выполнения требований безопасности на проверяемом объекте:

- 0 – показатель не соответствует ни требованиям безопасности персонала, ни требованиям нормативных документов по ТБ;
- 0.5 – показатель не полностью соответствует либо требованиям по безопасности персонала, либо нормативным документам по ТБ;
- 1 – показатель полностью соответствует требованиям безопасности персонала и требованиям нормативных документов по ТБ.

Как уже отмечалось, все факторы, влияющие на безопасность производственных процессов, были разбиты на четыре группы.

1. Факторы производственных территорий. Данная совокупность факторов описывает требования охраны труда, предъявляемые к производственным территориям (помещениям, площадкам и участкам работ), условия окружающей среды, в которых производится строительство, с точки зрения влияния на работу, и может быть описана следующим множеством:

$$\{T\} = \{R, OG, D, E, PP\}, \quad (3)$$

Таблица 1

Показатель	Норма	Оценка
Для лица – очки, маски, экраны	Есть	
Для органов дыхания – респираторы, противогазы	Есть	
Для головы – каска	Есть	
Для кожи – перчатки, для предотвращения ожогов и химических повреждений рук	Есть	

где R – подготовка рабочих зон; OG – ограждение; D – выделение опасных зон; E – освещенность рабочего места; PP – проходы и подъезды.

2. *Информационно-управляющие факторы.* Данная совокупность факторов описывает требования охраны труда, предъявляемые к информационно-управленческой части в производственных помещениях, на участках строительных работ. Ее можно описать следующим множеством:

$$\{Q\} = \{T, I, DD, RR, BB\}, \quad (4)$$

где T – информационные таблички; I – инструкции; DD – удобный доступ к нормативным документам; RR – допуски к опасным работам; BB – взаимосвязи.

3. *Человеческий фактор.* Данная совокупность факторов описывает требования охраны труда, предъявляемые к человеческому фактору в процессе строительных работ, ее можно описать следующим множеством:

$$\{P\} = \{SG, SIZ, K, PPR, O\}, \quad (5)$$

где SG – санитарно-гигиенические условия; SIZ – обеспеченность средствами индивидуальной защиты (СИЗ); K – комфорт; PPR – профпригодность; O – обучение.

4. *Факторы инструментальной части.* Данная совокупность факторов описывает требования охраны труда, предъявляемые к хранению материалов и инструментов, безопасности машин и оборудования, надежности инструментов, и может быть описана следующим множеством:

$$\{M\} = \{SP, X, IR, IE, TO\}, \quad (6)$$

где SP – складирование на площадке; X – хранение строительных материалов; IR – ОТ при работе с ручным инструментом и приспособлениями; IE – ОТ при работе с электрифицированным инструментом и приспособлениями; TO – безопасность техники и оборудования.

Каждый элемент множеств (3)–(6) представляет собой таблицу, подобную табл. 1.

Степень реализации отдельного фактора (требования) можно рассчитать для p проверяемых показателей в каждой группе факторов m по формуле

$$B_{jmn} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p K_{ijmn},$$

где K_{ijmn} – i -й показатель в каждой m -й группе (из четырех рассмотренных) показателей, в каждой j -й проверяемой таблице каждым n -м экспертом.

Тогда групповой показатель безопасности при наличии q таблиц в данной группе можно оценивать следующим образом:

$$B_{mn} = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q B_{jmn} = \frac{1}{qp} \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^p K_{ijmn}.$$

Комплексный показатель безопасности (результат конкретной проверки одним экспертом) оценивается по формуле

$$\begin{aligned} B_n &= \frac{1}{u} \sum_{m=1}^u B_{mn} = \frac{1}{uq} \sum_{m=1}^u \sum_{j=1}^q B_{jmn} = \\ &= \frac{1}{uqp} \sum_{m=1}^u \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^p K_{ijmn}, \end{aligned}$$

где u – количество групп факторов, проверяемых при данном мониторинге и оценке безопасности строительного процесса.

Интегральный показатель безопасности строительного процесса оценивается по формуле

$$\begin{aligned} B &= \frac{1}{v} \sum_{n=1}^v B_n = \frac{1}{vu} \sum_{n=1}^v \sum_{m=1}^u B_{mn} = \\ &= \frac{1}{vuq} \sum_{n=1}^v \sum_{m=1}^u \sum_{j=1}^q B_{jmn} = \frac{1}{vuqp} \sum_{n=1}^v \sum_{m=1}^u \sum_{j=1}^q \sum_{i=1}^p K_{ijmn}, \end{aligned}$$

где v – количество ступеней (или экспертов) в проводимой проверке.

По результатам оценки принимается решение об общем уровне безопасности на строительном объекте в соответствии со шкалой:

- $S \leq 0.67$ – уровень безопасности ниже минимально допустимого;
- $0.67 \leq S \leq 0.85$ – допустимый уровень безопасности;
- $0.85 \leq S \leq 1$ – высокий уровень безопасности.

Пример расчета уровня безопасности производственных процессов на строительном объекте по предложенному методу для четырех групп факторов, шестнадцати показателей и трех проверяющих с помощью электронной таблицы MS Excel приведен в табл. 2.

Таблица 2

Факторы	Ф1			Ф2			Ф3			Ф4		
	0.4			0.3			0.2			0.1		
	Проверяющие			Проверяющие			Проверяющие			Проверяющие		
Таблицы	Пров. 1	Пров. 2	Пров. 3	Пров. 1	Пров. 2	Пров. 3	Пров. 1	Пров. 2	Пров. 3	Пров. 1	Пров. 2	Пров. 3
Таблица 1	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0
	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	1.0	0.5	1.0
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.5	1.0
	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Таблица 2	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0
	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.0	0.5	0.0	1.0	0.5
Таблица 3	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5
	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0
Таблица 4	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.5	1.0
	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5
	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Таблица 5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
	0.5	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.0	0.5	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Уровень безопасности по фактору	0.78			0.72			0.61			0.79		
Уровень безопасности по объекту	0.73											

Основная функциональность приложения.

Основная идея данного приложения сводится к следующему. Проверяющий ходит по объекту, например с планшетом, и через открытое веб-приложение проставляет свои оценки по всем оцениваемым показателям в режиме online. В методе подразумевается возможность осуществления трехступенчатого контроля, т. е. проведение проверок проверяющими с разным статусом. Таким образом, три разных (разного уровня) проверяющих могут проставлять свои оценки по одним и тем же показателям. При этом необязательно, что в каждой проверке участвуют все три проверяющих (разного статуса). Например, внутренние проверки только одним проверяющим (бригадиром или начальником участка) проводятся чаще, проверки с двумя проверяющими (бригадир вместе с инженером по ТБ или руководителем) – реже, проверки с тремя проверяющими (бригадир вместе с инженером по ТБ и сторонним экспертом из органов надзора) – еще реже.

После того как проверяющий/проверяющие выставил/выставили свои оценки, программа проводит необходимые вычисления и выводит результаты на экран. Детальные результаты проведенной проверки (т. е. все оценки по всем показателям для каждого проверяющего значение рассчитанного показателя) записываются во внешний csv-файл.

В качестве исходных данных для приложения используются оценки показателей безопасности, введенные проверяющими.

В приложении реализовано два варианта ввода исходных данных (оценок показателей) в программу:

- ввод с экрана (с помощью соответствующих форм) – может использоваться в случае относительно небольшого количества проверяемых показателей;

- ввод из внешнего csv-файла – может использоваться при большом количестве проверяемых показателей.

Результатом работы приложения служат значения уровня безопасности по каждой из четырех групп факторов, а также значение интегрального показателя безопасности, рассчитанного с учетом весовых коэффициентов для каждой группы факторов. При этом значения самих весовых коэф-

фициентов также выступают в роли исходных данных для расчета и задаются проверяющими в начале работы программы.

Для вывода результатов расчета предусмотрены три варианта:

- вывод рассчитанных показателей непосредственно на экран;
- вывод рассчитанных показателей в текстовый файл (файл типа .txt);
- вывод всех выставленных каждым проверяющим оценок и значений рассчитанных показателей безопасности во внешний csv-файл.

Используемые технологии. Веб-приложение написано на языке Python [5] в объектно-ориентированном стиле [6]. В частности, при описании задачи были выделены четыре основные сущности (абстракции): проверяющий, фактор, таблица, показатель. Затем каждая сущность была реализована в программе в виде отдельного класса.

В качестве примера на рис. 1 представлен программный код класса «фактор».

```
class Factor:
    def __init__(self, factor_type, weight=0.25):
        self.factor_type = factor_type
        self.weight = weight
        self.inspectors = []
        self.sum = 0

    def count_insp(self):
        sum = 0
        for i in range(len(self.inspectors)):
            sum += self.inspectors[i].sum
        self.sum = sum / len(self.inspectors)

    def add_inspectors(self, amount):
        inspectors = []
        for i in range(amount):
            inspectors.append(Inspector(i + 1))
        self.inspectors = inspectors

    def __str__(self):
        return str(self.factor_type)
```

Рис. 1

При разработке интерфейса приложения был использован объектно-ориентированный компонентный фреймворк Flask [7]. В частности, все формы, необходимые для ввода оценок проверяющими, были реализованы в виде объектов соответствующих классов, унаследованных от базового класса FlaskForm фреймворка Flask.

```
class FactorForm(FlaskForm):
    factor_1 = StringField('T-Factor Significance: ')
    factor_2 = StringField('Q-Factor Significance: ')
    factor_3 = StringField('P-Factor Significance: ')
    factor_4 = StringField('M-Factor Significance: ')
    submit = SubmitField('Submit')
```

Рис. 2

В качестве примера на рис. 2 представлен программный код класса формы для ввода весовых коэффициентов.

В качестве основного средства для разработки интерфейса веб-приложения использовался язык разметки документов HTML [8]. Для упрощения оформления и интерактивности в качестве вспомогательного инструмента был использован формальный язык описания внешнего вида документа CSS [8].

Результаты. Далее приводятся некоторые примеры работы приложения.

На рис. 3 представлен внешний вид формы для ввода весовых коэффициентов для различных групп факторов, реализуемой с помощью класса FactorForm, программный код которого представлен на рис. 2.

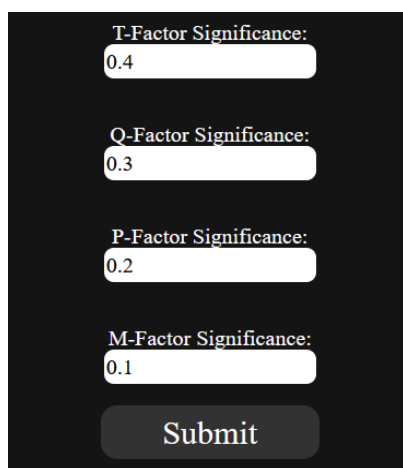


Рис. 3

На рис. 4 представлен внешний вид формы для выбора количества проверяющих, участвующих в проверке, на рис. 5 – внешний вид формы для проставления оценок выбранных показателей для первого фактора (Т-фактор), первого проверяющего и первой таблицы для случая, когда в таблице содержится два показателя, которые необходимо оценить проверяющим.

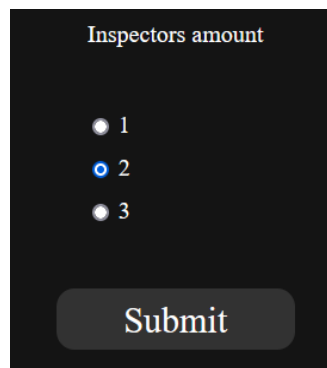


Рис. 4

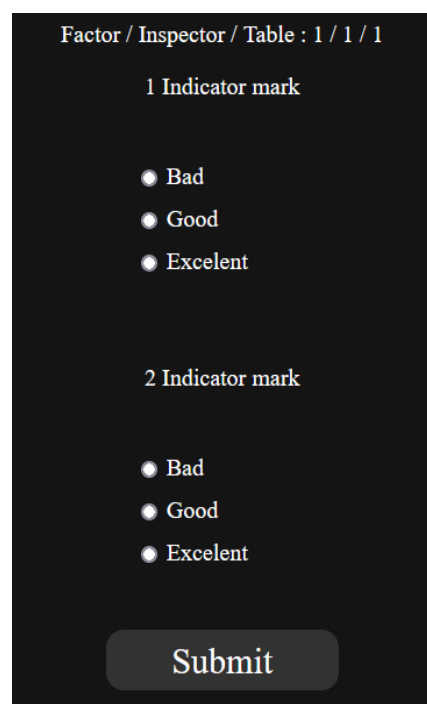


Рис. 5

На рис. 6 и 7 представлены результаты вывода расчета показателей безопасности на экран и в тестовый файл соответственно.

На рис. 8 представлен результат вывода таблицы с оценками показателей и рассчитанных показателей безопасности в csv-файл по результатам проверки двумя проверяющими. При этом

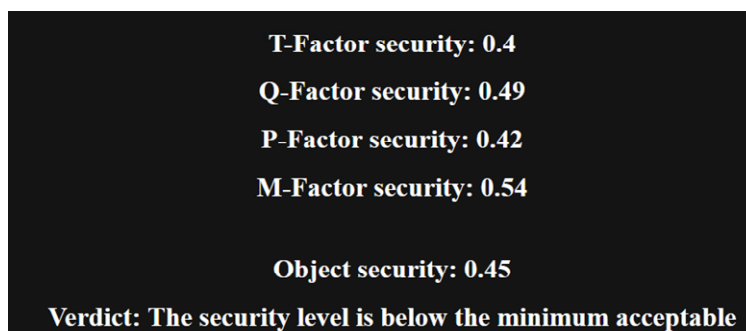


Рис. 6

```

out - Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
Log number 1 (06/10/2021 19:09)

T-Factor security: 0.4
Q-Factor security: 0.49
P-Factor security: 0.42
M-Factor security: 0.54

Object security: 0.45
Verdict: The security level is below the minimum acceptable
    
```

Рис. 7

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Factors		T-Factor		Q-Factor		P-Factor		M-Factor	
2	Factors significance	0.4			0.3		0.2		0.1	
3	Tables	Indicators	Inspectors							
4			1	2	1	2	1	2	1	2
5	1	1	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
6		2	0.5	0.0	0.0	0.5			0.0	0.5
7		3			0.5	0.5				
8		4								
9	2	1	0.5	0.0	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5
10		2	0.5	0.5	0.5	1.0	0.0	1.0	0.5	1.0
11		3	0.5	0.0					0.5	1.0
12		4								
13	3	1	0.5	0.5	0.5	1.0	0.0	0.5	0.5	1.0
14		2			0.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
15		3			1.0	0.5	0.0	1.0	1.0	1.0
16		4			1.0	0.5			1.0	0.5
17	4	1	1.0	0.5	0.0	0.5	0.5	0.0	0.5	1.0
18		2	0.5	1.0	0.5	0.0	1.0	0.5	1.0	1.0
19		3	1.0	0.5	0.0	0.0				
20		4								
21	5	1	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5
22		2	0.5	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
23		3	0.0	0.0			0.5	1.0		
24		4	0.5	0.5						
25	Single factor security	0.4			0.49		0.42		0.54	
26	Object Security	0.45								
27	Verdict	The security level is below the minimum acceptable								

Рис. 8

в данной проверке для разных факторов и разных таблиц количество оцениваемых показателей было тоже разным: для *T*-фактора оценивались два показателя из табл. 1, для *Q*-фактора – три показателя, для *P*-фактора – один показатель, для *M*-фактора – два показателя.

Предложен количественный метод оценки уровня безопасности на строительной площадке. На основе предложенного метода с помощью

фреймворка Flask и языка программирования Python разработано веб-приложение, позволяющее оценить уровни безопасности по четырем группам факторов, а также интегральный показатель безопасности. Разработанное приложение в дальнейшем может быть встроено в более глобальную автоматизированную информационную систему контроля над соблюдением правил охраны труда и требований техники безопасности на строительных объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нам Г. Е. Применение BIM-технологий в системе управления охраной труда для идентификации опасных и вредных факторов // Актуальные проблемы

охраны труда: Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 162–165.

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-