



## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ, ОБРАЗОВАНИИ И ЭКОНОМИКЕ



АЗОВ  
№ 4 (18)  
2020 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове**

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ,  
ОБРАЗОВАНИИ И ЭКОНОМИКЕ**

**Электронный журнал**

**№ 4 (18)  
2020 г.**

УДК 004  
ББК 30.1  
И 66

**Редакционная коллегия:**

Председатель редакционной коллегии:

- **Долженко Артем Михайлович**, зам. директора по АХР ТИ (филиала) ДГТУ в г. Азове

Члены редакционной коллегии:

- **Горис Татьяна Владимировна**, PhD., доцент кафедры «Технология и трудовые ресурсы» Государственного университета Питсбурга (штат Канзас)
- **Николаенко Денис Владимирович**, канд. техн. наук., доцент кафедры «Компьютерная инженерия» ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
- **Маргарита Млчохова**, переводчик Интеграционного центра поддержки иностранцев МВД Чешской Республики
- **Евгений Кирпач**, канд. техн. наук, сетевой аналитик "Clearable Networks", Дандас, провинция Онтарио, Канада
- **Дроздов Никита Алексеевич**, преподаватель кафедры «Вычислительная техника и программирование» ТИ (филиала) ДГТУ в г. Азове

**И 66 Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике**  
[Электронный ресурс]. 2020. Т. 29. № 4 (18). – 32 стр. ISBN 978-1-0053-8689-4

В журнале публикуются материалы в области развития научно-исследовательского потенциала образовательных организаций, обмена знаниями и опытом в области проектирования, внедрения и совершенствования перспективных инновационных методов и технологий в различных областях, формирования научной международной среды обучающихся для дальнейшего сотрудничества и обмена опытом.

**ISBN** 978-1-0053-8689-4

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Долгопятов Алексей Юрьевич</b> КРИПТОЗАЩИТА ХЕШИРОВАНИЕМ .....	5
<b>Дудников Александр Николаевич</b> <b>Легкий Сергей Анатольевич</b> <b>Шкабура Дмитрий Сергеевич</b> МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО НАЗЕМНОГО ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА С ВЫЗЫВНЫМ УСТРОЙСТВОМ .....	10
<b>Дудников Александр Николаевич</b> <b>Легкий Сергей Анатольевич</b> УСЛОВИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЕВОПОВОРОТНЫХ ПОТОКОВ В ВИДЕ ОТДЕЛЬНОЙ ФАЗЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ТРЕХФАЗНОМ СВЕТОФОРНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ .....	17
<b>Долженко Кристина Кястучио</b> ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИЭТИЛЕНА ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ .....	25
<b>Долженко Артем Михайлович</b> АЛМАЗСОДЕРЖАЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....	27
<b>Мельник Алина Александровна</b> ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ .....	29

## TABLE OF CONTENTS

<b>Dolgopyatov Alexey Yurievich</b>	
CRYPTO-HASHING.....	5
<b>Dudnikov Alexander</b>	
<b>Legkiy Sergey</b>	
<b>Shkabura Dmitriy</b>	
METHODOLOGY FOR DESIGNING AN ADJUSTABLE PEDESTRIAN CROSSING WITH A RINGER.....	10
<b>Dudnikov Alexander</b>	
<b>Legkiy Sergey</b>	
THE CONDITION FOR THE NEED TO ENSURE THE MOVEMENT OF LEFT-HAND TURNING FLOWS IN THE FORM OF A SEPARATE PHASE OF REGULATION WITH THREE-PHASE TRAFFIC LIGHT REGULATION.....	17
<b>Dolzhenko Kristina Kyastuchio</b>	
CHANGE IN THE STRUCTURE OF POLYETHYLENE BY MODIFICATION WITH BIFUNCTIONAL ORGANOSILICON COMPOUNDS .....	25
<b>Dolzhenko Artem Mikhailovich</b>	
DIAMOND-CONTAINING COMPOSITE MATERIALS FOR TOOL PURPOSE .....	27
<b>Melnik Alina Aleksandrovna</b>	
PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF EXPERT ASSESSMENTS IN THE DEVELOPMENT OF SOFTWARE SYSTEMS .....	29

## КРИПТОЗАЩИТА ХЕШИРОВАНИЕМ

Долгопятов Алексей Юрьевич

Донской государственный технический университет,  
Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове,  
Азов, Россия

### Аннотация

В статье рассмотрена возможность хеширования данных. Виды и области шифрования данных. Существующие виды атак на хеш-функции. Математическая модель использования хеширования.

**Ключевые слова:** хеш-функция, шифрование, вес Хэмминга, прообраз, радужная таблица.

## CRYPTO-HASHING

**Dolgopyatov Alexey Yurievich**

Don state technical University,  
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov  
Azov, Russia

### Abstract

The article discusses the possibility of hashing data. Types and areas of data encryption. Existing types of hash attacks. A mathematical model of using hashing.

**Keywords:** hash function, encryption, Hamming weight, prototype, rainbow table.

### Введение

В 1993 году был разработан алгоритм хеширования SHA-0, но из-за ошибок создания кода алгоритм был уязвим. В 1995 году вышел в свет новый обновленный алгоритм SHA-1, который впоследствии стал применяться в дайджестах сообщений и криптографических приложениях и алгоритмах.

Криптографические хеш-верификаторы считаются безопасными и используются для проверок целостности и подлинности. Таким образом, высокая алгоритмическая сложность и однонаправленность послужило базисом для легитимности электронных подписей и их аналогов в системах защиты информации.

Существуют 4 основные области шифрования информации:

1. Симметричное
2. Ассиметричное
3. Хеширование
4. Беспроводное

При необходимости использования симметричное шифрование применяется для больших объемов данных и для быстроты использования. Для использования ассиметричного шифрования специалист столкнется с проблемой медленного взаимодействия, и при этом используются ключи на обоих концах каналов связи. При использовании «хеш» - что предусматривает одностороннее шифрование, мы займемся шифровкой и расшифровкой исходного текста. Если рассмотреть беспроводное шифрование – то оно симметрично из-за требований по скорости и обмен ключами будет иметь для специалиста решающее значение.

В рамках критериев безопасности существует 6 основных требований безопасности:

1. Политика безопасности
2. Метки

3. Регистрация и учет
4. Идентификация и аутентификация
5. Контроль корректности функционирования средств защиты
6. Непрерывность защиты

В последствии после разработки критериев безопасности данных разработали классы, которые отвечают ГОСТам безопасности степени защищенности данных:

1. Группа D – минимальная защита
2. Группа С – дискреционная защита
3. Группа В – мандатная защита
4. Группа А – верифицированная защита.

Криптография является одним из важных инструментов, обеспечивающих конфиденциальность передаваемой информации.

В области безопасности передаваемой информации по каналам связи особое место занимает специальный класс функций, называемых хеш-функциями.

## **1. Хэш-функция**

Криптографическими методами защиты информации обеспечивается конфиденциальность и целостность хранимой информации в информационных системах.

Если рассматривать простые алгоритмы данных, то достаточно просто подобрать несколько массивов данных, имеющих одинаковую контрольную сумму.

Рассмотрим понятие односторонней функции, под которым понимается функция на множестве натуральных чисел и не требующая больших объемов вычислительных ресурсов. Вычисление обратной функции по известному значению функции невозможно вычислительно, поэтому этот весомый аргумент соответствует тому, что восстановить значение аргумента функции будет проблематичным или более того – сложным.

При этом, также нельзя забывать и о коллизиях, которые могут возникнуть. То есть, коллизией хэш-функции назовем ситуацию, при которой существует два разных текста  $Q_1$  и  $Q_2$ , но  $H(Q_1)=H(Q_2)$ . На длину исходного текста не накладывается никаких ограничений. Отсюда можно сделать вывод, что для заданного текста  $Q_1$  невозможно найти  $Q_2$ , вызывающий коллизию.

Если рассматривать одностороннюю функцию шифрования данных, где в качестве шифрованного представления исходных данных будет выступать результат работы хеш-функции, и знание хеш-кода не позволит нам восстановить исходные данные.

## **2. Алгоритм хеширования**

Распространенные криптографические функции считаются стойкими, но злоумышленники находят математические лазейки, ослабляющие защиту.

Сложность криптостойкого хеша равна заявленной длине последовательности бит минус 1. В результате, 128-битный хеш будет иметь сложность вычислений  $2^{127}$ . Если найти математический алгоритм, который позволит взломать хеш за время меньшее, чем эффективная длина бит минус 1, такой хеш будет редукторным.

Суть алгоритма состоит в следующем: сообщение делится на блоки по 512 бит в каждом, а последний блок дополняется до длины, кратной 512 бит. То есть заполняется 1 (единицей), а за ней 0 (нуль), для того, чтобы длина блока стала равной 448 бит. Остальные 64 бита информации записывается длина исходного сообщения в битах. Отсюда получаем, что число добавляемых бит находится в интервале от 1 до 512.

Для эффективности работы алгоритма необходимо и достаточно, чтобы вес Хэмминга был на порядок выше всех возможных состояний кодовых слов.

Атаки в системах аутентификации, основанные на построении коллизий алгоритма, неосуществимы из-за применения ключевого хеширования.

Хеш-функция осуществляет отображение множества хешируемых текстов на множество значений хеш-функции. Множество хешируемых текстов разбивается на классы

эквивалентности по значениям хеш-функции. Сложность нахождения коллизий хеш-функции зависит от аналитической сложности этого отображения.

Математической моделью задачи об оценке сложности числа коллизий является задача, известная как «парадокс близнецов»: в множестве из элементов, каждый из которых характеризуется независимо от других одним из признаков при его случайному и равновероятном выборе, среднее число элементов с признаком, одинаковым для фиксированного элемента, равно  $\frac{n}{m}$ , среднее число пар элементов с одинаковым признаком равно  $\frac{n}{m-2}$ .

В современных информационных системах хеш-функция реализуется итерацией математических операций над промежуточными значениями вычислений. Итак, для снижения криптографической сложности алгоритма на три-четыре порядка используются математические операции (сложения, побитовые логические операции, операции сдвига).

## 2.1. Алгоритм вычисления хеш-функции ГОСТ Р34.11-94

Алгоритм сопоставляет сообщению произвольной длины 256-битный сжатый образ, который используется для генерации и проверки цифровой подписи в стандарте ГОСТ.

Пусть исходное сообщение  $s$  задано  $t$ -битной строкой  $(s_1, s_2 \dots s_t)$ .

Строка сообщения  $s$  дополняется необходимым количеством нулей, до длины кратной 256.

Пусть  $S = (S_1, S_2 \dots S_n)$  – дополнительное сообщение, которое состоит из  $n$ -блоков, каждый из которых имеет длину 256 бит.

Параметрами хеш-функции ГОСТ Р34.11-94 – является 256-битный стартовый вектор хеширования  $GOST0=gost0||gost1||gost2||gost3||$  на выбор, которого ограничения не накладываются.

Вычисление хеш-функции  $h$ :

Вход:  $n$ -блоки по 256-бит

Алгоритм: для всех  $i=1, \dots, n$   $GOST\ i \leftarrow g(GOST\ i-1, M_i)$

Выход:  $h(M)=GOST\ n$

При вычислении шаговой функции хеширования используется накопитель  $H$ , содержащий четыре 64-битных слова  $H_0, H_1, H_2, H_3$ . Исходным заполнителем накопителя  $H$  являются слова стартового вектора хеширования  $GOST0$ .

На первом этапе блок  $M_i$  рассматривается как вектор  $m$  над полем  $F_2$ .

На втором этапе каждое из четырех 64-битных слов зашифровываются в режиме простой замены на соответствующем ключе.

На третьем этапе выполняется перемешивание, представляющее собой композицию невырожденных линейных над  $F_2$  преобразований. Результат перемешивания заносится в накопитель.

После обработки блок  $M_n$  итоговым сжатым образом сообщения будет 256-битная строка из 4 слов.

В 2008 году командой экспертов из Австрии и Польши была обнаружена техническая уязвимость, сокращающая поиск коллизий в 223 раз. Количество операций, необходимое для нахождения коллизии, таким образом, составляет 2105, что, однако, на данный момент практически не реализуемо. Проведение коллизионной атаки на практике имеет смысл только в случае цифровой подписи документов, причем, если взломщик может изменять неподписанный оригинал.

Данный алгоритм входит в состав программно-аппаратного комплекса, предназначенного для защищенного обмена данными по каналам системы межведомственного электронного взаимодействия.

## 2.2. Алгоритм вычисления хеш-функции ГОСТ Р34.11-2012

ГОСТ 34.11-2012 был разработан Центром защиты информации и специальной связи ФСБ России.

В основу хэш-функции является функция сжатия, построенная на блочном шифре с помощью односторонней функции сжатия Миагучи-Пренеля.

Рассмотрим одностороннюю функцию сжатия: функция подает каждый блок исходного сообщения  $p_i$  в качестве текста, который был зашифрован. Далее выполняем операцию XOR (исключающее ИЛИ) зашифрованного текста с тем же блоком исходного сообщения  $p_i$ , а после этого применяем операции XOR с предыдущим значением хэш-функции  $K_{i-1}$  для получения следующего значения хэш  $K_i$ . Предыдущее значение хэш-функции  $K_{i-1}$  ставят в качестве ключа для блочного шифра. Для преобразования функции  $G(0)$  подается хэш-функция, чтобы соответствовать в качестве ключа для шифрования.

В основу стандарта 2012 года была положена функция хеширования. Хэш-функция может иметь два варианта с результирующим значением длиной 256 и 512 бит. Если длина сообщения больше 512 бит (64 байта), то оно делится на блоки по 512 бит, а оставшиеся значения заполняют нулями с одной единицей до 512 бит. Если длина сообщения меньше 512 бит, то она сразу дополнится нулями с единичкой до полных 512 бит.

В связи с тем, что в основе хэш-функции лежит блочный шифр с известным ключом, то как и при любой другой конструкции хэш-функции противнику известны все её внутренние состояния на каждом раунде преобразования. В связи с этим, нахождение любого различителя внутреннего шифра в модели с известным ключом, а в последствии, различителя для функции сжатия с этим шифром, может быстро привести к любой атаке.

Для нахождения различителей в шифрах такого рода логично попытаться применить интегральный криптоанализ. Он является противоположностью по отношению к дифференциальному. Если в дифференциальном криптоанализе изучается прохождение разности пар для получения наиболее вероятного дифференциала, то в интегральном криптоанализе изучается прохождение сумм множества значений для получения определённых интегралов. Данный криптоанализ был специально разработан против шифров с биективными преобразованиями, которые проще создать устойчивыми к дифференциальному криптоанализу. Интеграл — это набор значений с определёнными суммами на входе и на выходе. Он показывает, как при прохождении множества раундов шифра свойства суммирования, меняются на каждом раунде.

Интегральный криптоанализ был успешно опробован против AES. В обобщённом виде под именем насыщающего анализа он был ранее опробован против Twofish, а в виде частного случая на атаках с нулевой суммой — против алгоритма SHA3/Кессак.

Используя атаки старта посредине и комбинацию двух найденных интегралов, существует 6.5 и 7.5-раундовый различитель для внутренней перестановки и 6 и 7-раундовый различитель для функции сжатия. Атака нахождения различителя на неполнораундовый алгоритм требует в разных вариантах от 264 до 2120 входных или среднераундовых значений.

### 3. Атаки на хеш-функции

Идеальная хеш-функция — функция, имеющая на выходе значение  $n$ -бит.

Для взлома криптостойкости хеш-функций используют следующие известные атаки:

а) нахождение прообраза

Деликвент, ищет прообраз для идеальной хеш-функции по следующему правилу: у него есть число  $q$ , и ему необходимо найти такое  $N$ , что  $f(N) = q$ , таким образом злоумышленник перебирает все возможные  $N$  и чему равна хеш-функция от этого сообщения. Следовательно, вычисление прообраза занимает в два раза меньше времени.

Если деликвент будет искать прообраз с помощью «радужной таблицы», то ему необходимо будет создавать таблицы с промежуточными паролями, но данный метод требует много времени и памяти персонального компьютера. Причем, каждая хеш-таблица отвечает за свой алгоритм и необъятно будет использовать одну таблицу для нахождения какого-либо пароля.

б) атака «дней рождения»

Вычисление второго прообраза будет число  $2^n$ . Суть метода: хотя бы у двух человек вероятность совпадения даты рождения превышала  $\frac{1}{2}$ , необходимо более 20 человек. При этом, нужно проанализировать не совпадения одного человека с другим, а произвести анализ всех пар. Если деликвент будет заниматься поиском по коллизии ему будет необходимо завести себе словарь коллизий, и на этом этапе данный словарь может быть дополнен (если не совпадет хеш-функция). Но для обработки словаря потребуется очень много оперативной памяти.

Атаки на реализацию алгоритмов возникают чаще всего из-за следующих причин:

- Секретный ключ ЭЦП хранится на жестком диске
- После завершения работы системы ЭЦП, ключ, хранящийся в оперативной памяти не затирается
- Обеспечивается безопасность сеансовых ключей, а главным ключам внимания не уделяется
- Доступность скомпрометированных ключей
- Отсутствует контроль целостности программы генерации или проверки ЭЦП.

### **Заключение**

Алгоритм SHA является криптостойким, даже если деликвент поменял несколько байт, хеш-код изменится. Таким образом, изучая теоретически и практически разновидности алгоритмов и стандартов, можно сделать вывод, что SHA-2 является более устойчивым. Но современный мир переходит постепенно на SHA-3.

Существует множество криптографических атак, и для того, чтобы хеш-функция была устойчивой необходимо применять блочные шифры.

Использование на основе хеш-функций приложений позволит автоматизировать процессы: шифрования, электронно-цифровой подписи сразу нескольких документов.

Значительно повысится эффективность работы и снизится процент ошибок в процессе обработки электронных документов. Использование шифрования с ГОСТ алгоритмом позволяет передавать по открытым каналам связи информацию, содержащую коммерческую тайну, так же возможно сокрытия в зашифрованные архивы особо важную информацию, тем самым ограничив доступ к ней строго определенному кругу лиц.

Хеш-функции применяют в сетевых протоколах, алгоритмах электронно-цифровой подписи, механизмах аутентификации на основе паролей. Наиболее распространенной является последовательность хеш-функций MD2, MD4 и MD5. Все они генерируют результат работы хеш-функции фиксированной длины в 16 байт.

### **Литература**

1. Борисов М.А. – «Основы программно-аппаратной защиты информации», издательство ЛЕНАНД, 2014 г.
2. [Шейдаков Н.Е.](#) – «Физические основы защиты информации», издательство Инфра-М, 2016 г.
3. Баскаков И.В., Евсеев В.Л. – «Защита информации в информационных системах», издательство Москва: Рудомино, 2011 г.
4. Шаньгин В.Ф. – «Защита информации в компьютерных системах и сетях» Москва «ДМК Пресс» 2012 г.

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО НАЗЕМНОГО ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА С ВЫЗЫВНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Дудников Александр Николаевич, Легкий Сергей Анатольевич,  
Шкабура Дмитрий Сергеевич

Донецкий национальный технический университет,  
Автомобильно-дорожный институт  
Горловка, Донецкая Народная Республика

### *Аннотация*

*В статье проведен анализ существующих методик проектирования регулируемых наземных пешеходных переходов на перегонах городских улиц. Установлено, что светофорное регулирование на наземных пешеходных переходах проектируется с жестким программным управлением, при этом обоснование и непосредственная методика проектирование светофорного регулирования на пешеходном переходе с вызывным устройством отсутствует. Предложена методика проектирования регулируемого наземного пешеходного перехода с вызывным устройством, учитывающая состав пешеходного потока и двустороннее его направление, а также новый критерий для нижней границы условия введения светофорного регулирования.*

**Ключевые слова:** методика, переход пешеходный, регулирование светофорное, критерий введения светофорного регулирования, устройство вызывное.

## METHODOLOGY FOR DESIGNING AN ADJUSTABLE PEDESTRIAN CROSSING WITH A RINGER

**Dudnikov Alexander, Legkiy Sergey, Shkabura Dmitriy**

Donetsk National Technical University,  
Automobile and Road Institute  
Gorlovka, Donetsk People's Republic

### *Abstract*

*The article analyzes the existing design techniques for controlled ground pedestrian crossings on the city streets. It has been established that traffic light regulation at ground pedestrian crossings is designed with rigid program control, while there is no justification and direct methodology for designing traffic light regulation at a pedestrian crossing with a ringing device. A method of designing an adjustable ground pedestrian crossing with a ringing device is proposed, taking into account the composition of the pedestrian flow and its two-way direction, as well as a new criterion for the lower boundary of the condition for the introduction of traffic light regulation.*

**Keywords:** methodology, transition pedestrian, adjusting a traffic-light, criterion of introduction of the traffic-light adjusting, device drop-indicator.

**Введение.** На современном этапе развития крупных городов и мегаполисов наблюдается тенденция к увеличению количества автомобилей, а соответственно и интенсивности их движения на улично-дорожной сети. В таких условиях для населения возникает проблема сокращения времени пересечения городских улиц, напрямую влияющего на общее время передвижения к местам работы, учебы, отдыха и т. д. Особенno это касается инвалидов и других маломобильных групп населения. Решение данной проблемы можно достичь за счет введения регулируемого наземного пешеходного перехода с вызывным устройством. Поэтому проблема разработки методики обоснованного проектирования регулируемого наземного пешеходного перехода с вызывным устройством на перегонах

городских улиц, учитывающей состав пешеходного потока и двустороннее его направление является актуальной.

**Анализ предыдущих исследований.** Проведенный анализ последних исследований и публикаций [1–7] позволил провести общую характеристику методик проектирования регулируемых наземных пешеходных переходов на перекрестках городских улиц.

Пешеходные переходы располагают в соответствии со сложившимися маршрутами движения пешеходных потоков, выявляемыми в результате проведения обследования пешеходного движения [1–3].

Перекрестки городских улиц и дорог должны быть оборудованы одним или более пешеходными переходами в зависимости от расположения относительно перекрестка пунктов притяжения пешеходного движения. Запрещение пересечения пешеходными переходами проезжей части на каком-либо подходе к перекрестку должно рассматриваться с учетом возможных экономических потерь, связанных с задержками пешеходов [1–3].

Расстояние между пешеходными переходами следует принимать с учетом рекомендаций, приведенных в [4]: для скоростных дорог, магистральных улиц и дорог общегородского значения непрерывного движения – 400–600 м; для магистральных улиц и дорог общегородского значения регулируемого движения – 300–400 м; для магистральных улиц и дорог районного значения – 250–300 м; для улиц и дорог местного значения – 150–200 м.

Расчет расстояний между пешеходными переходами и определение их местоположения должны выполняться в следующей последовательности:

– участок улицы или дороги между двумя смежными перекрестками разбивается на зоны, протяженность которых соответствует максимальным значениям расстояний, приведенных выше;

– определяется (моделируется) суточная интенсивность пешеходного движения, характеризующая генерирующую способность крупнейших пунктов тяготения пешеходов. Причем учитываются только те пункты, посетители которых для передвижения используют рассматриваемую магистраль.

В зависимости от вида зданий и сооружений их генерирующая способность определяется по формулам, приведенным в [5].

Транспортная характеристика пешеходных направлений, связывающих пункты генерации пешеходных потоков между собой через рассматриваемый участок улицы определяется по формуле [5]:

$$H_i = S_i \cdot N_{n_i}, \text{ пеш/сут,} \quad (1)$$

где  $S_i$  – коэффициент, учитывающий значимость корреспонденции, зависящей от целевого назначения пешего передвижения;

$N_{n_i}$  – смоделированная генерирующая способность зданий и сооружений интенсивности пешеходных потоков, при проектировании пешеходных переходов, пеш/сут.

Местоположение пешеходного перехода определяется по следующей формуле [5]:

$$l_k = \frac{\sum H_i \cdot l_{H_i}}{\sum l_{H_i}}, \text{ м,} \quad (2)$$

где  $l_k$  – расстояние от произвольно взятой на оси дороги точки  $\omega$  в пределах рассматриваемого участка магистрали до сечения проезжей части, где целесообразно устройство пешеходного перехода, м;

$l_{H_i}$  – расстояние от идеальной точки пересечения проезжей части пешеходным потоком с транспортной характеристикой  $H_i$  до точки  $\omega$ , м.

При положительном значении  $l_k$  пешеходный переход должен располагаться на  $l_k$  м влево от точки максимума, при отрицательном значении – вправо.

Вычисленное местоположение пешеходного перехода должно быть проверено на условие обеспечения взаимной видимости «пешеход–транспорт».

Расположение регулируемого пешеходного перехода с вызывным устройством должно корректироваться с учетом следующих требований.

Пешеходные переходы через автомобильные дороги в населенных пунктах необходимо располагать через 200–300 м [4], что также касается пешеходных переходов с вызывным устройством.

В населенных пунктах протяженностью до 0,5 км необходимо устраивать не более двух пешеходных переходов с интервалом 150–200 м [4], что аналогично для пешеходных переходов с вызывным устройством.

Вне населенных пунктов места наземных пешеходных переходов должны просматриваться с обеих сторон дороги на расстоянии не менее 150 м.

На дорогах с шириной проезжей части 15 м и более наземные пешеходные переходы оборудуются островками безопасности.

Поверхность проезжей части в месте расположения пешеходного перехода должна быть видна водителю на магистральных улицах общегородского значения [4; 5] на расстоянии не менее 140 м, на магистральных улицах районного значения – 100 м, на улицах и дорогах местного значения – 75 м, на автомобильных дорогах при расчетной скорости движения 100 км/ч – не менее 140 м, при расчетной скорости 80 км/ч – 100 м, при расчетной скорости 60 км/ч – 75 м, при расчетной скорости 40 км/ч – 50 м.

В зоне треугольника видимости наземного нерегулируемого пешеходного перехода не допускается размещение строений и зеленых насаждений высотой более 0,5 м. Стороны треугольника видимости следует принимать равными 8–40 м при расчетной скорости транспортного движения 40 км/ч, 10–50 м – при скорости 60 км/ч, 15–75 м – при скорости 80 км/ч и 25–100 м – при скорости 100 км/ч [4; 5]. В указанных зонах целесообразно запрещать стоянку и остановку транспортных средств.

При необходимости регулирования движения пешеходов через одну половину проезжей части (от тротуара до островка безопасности) пешеходные светофоры должны быть установлены и на второй половине проезжей части.

Виды и последовательность сигналов светофоров в зависимости от расположения пешеходного перехода и типа светофоров приведены в [6].

Пешеходные светофоры должны обеспечивать полное разделение во времени пересекающихся транспортных и пешеходных потоков.

Режим работы светофоров, регулирующих движение пешеходов и установленных на магистрали, оборудованной системой координированного регулирования, должен быть согласован с графиком координации сигналов для данной магистрали и с работой транспортных светофоров, установленных на том же светофорном объекте.

Расчет режима светофорной сигнализации на пешеходном переходе, расположенным вне зоны регулируемого перекрестка, должен выполняться в следующем порядке: определение длительности разрешающего сигнала пешеходного светофора; определение длительности цикла светофорного регулирования; определение длительности разрешающего сигнала транспортного светофора. Длительность промежуточного сигнала принимается равной 3 с.

Длительность сигнала, разрешающего движение пешеходов, определяют по формуле [7]:

$$t_n = 5 + \frac{B}{V_n}, \text{ с}, \quad (3)$$

где  $t_n$  – длительность сигнала, разрешающего движение пешеходов, с;

$B$  – ширина проезжей части, пересекаемой пешеходами за время одного светофорного цикла, м;

$V_n$  – скорость движения пешеходов, м/с; (принимается равной 1,3 м/с).

Длительность светофорного цикла определяют по формуле [1; 5]:

$$T = \frac{t_n + L}{1 - \frac{N_m}{M_n}}, \text{ с,} \quad (4)$$

где  $L$  – сумма переходных интервалов в светофорном цикле, с;

$N_m$  – интенсивность транспортных средств, авт/ч;

$M_n$  – поток насыщения, определяемый путем проведения натурных наблюдений, авт/ч.

Длительность зеленого сигнала транспортного светофора [1; 5]:

$$t_m = \frac{N_m \cdot T}{M_n}, \text{ с.} \quad (5)$$

Если в результате расчета по формуле (5) длительность зеленого сигнала транспортного светофора получилась больше 30 с, то следует рассмотреть возможность устройства островка безопасности. В этом случае может быть запроектирована длительность разрешающего сигнала пешеходного светофора из условия преодоления пешеходами в течение одного светофорного цикла расстояния от тротуара до островка безопасности.

Если при расчете по формуле (5) ширина островка безопасности превысит предельное для местных условий значение, следует применять поэтапный пропуск пешеходов через проезжую часть со сдвигом во времени включения одноименных сигналов пешеходных светофоров.

Для пешеходного перехода, оборудованного вызывной пешеходной сигнализацией, расчет режима регулирования выполняется аналогично, указанное требование сформулировано по рекомендациям [5].

Проведенный анализ методик проектирования регулируемых наземных пешеходных переходов на перекрестках городских улиц позволил сделать вывод, что светофорное регулирование на наземных пешеходных переходах на перекрестках городских улиц проектируется с жестким программным управлением, при этом интенсивность пешеходов и место расположения перехода моделируются по известным методикам. Обоснование и непосредственная методика проектирование светофорного регулирования на пешеходном переходе с вызывным устройством отсутствует.

**Целью исследования** является разработка методики проектирования регулируемого наземного пешеходного перехода с вызывным устройством на перекрестках городских улиц, учитывающей состав пешеходного потока и двустороннее его направление.

**Основные результаты исследования.** Методика проектирования светофорного регулирования наземного пешеходного перехода с вызывным устройством на перекрестках улиц городов предполагает наличие семи этапов: сбор исходных данных; проверка условия применения регулируемого пешеходного перехода с вызывным устройством; проведение промежуточных расчетов; расчет необходимого времени движения пешеходов на зеленый сигнал пешеходного светофора; расчет необходимого времени для движения пешеходов в период промежуточного такта; корректировка значений длительности горения зеленого сигнала на пешеходном светофоре и необходимого промежуточного такта в большую сторону до целого числа в секундах; построение циклограммы работы пешеходных светофоров. Раскроем содержание перечисленных этапов.

*Этап 1. Сбор исходных данных.*

Перечень исходных измеряемых данных следующий:

$L_{nu_i}$  – длина  $i$ -го пешеходного перехода, м;

$V'_{nu_i}$ ,  $V''_{nu_i}$  – скорости пешеходных потоков встречных направлений на  $i$ -ом пешеходном переходе, м/с;

$N'_{nu_i}$ ,  $N''_{nu_i}$  – интенсивности пешеходных потоков встречных направлений на  $i$ -ом пешеходном переходе, пеш/ч;

$B_{nu_i}$  – ширина  $i$ -го пешеходного перехода, м;

$V_{nu_i}^{min}$  – минимальная скорость из встречных пешеходных потоков  $V'_{nu_i}$ ,  $V''_{nu_i}$ , м/с;

$N_{nu_i}^{max}$  – максимальная интенсивность из встречных пешеходных потоков  $N'_{nu_i}$ ,  $N''_{nu_i}$ , пеш/с;

$t_{kp_i}^n$  – длительность горения красного сигнала на пешеходном переходе, время, в период которого происходит накопление очереди перед пешеходным переходом, с;

$l_{min}$  – минимальное расстояние от края проезжей части до области на тротуаре, где пешеход находится в безопасности, обычно принимается равным 0,5 м [1];

$n_{nu_i}$  – количество пешеходов, одновременно подходящих к регулируемому переходу с одного направления, требующее установки вызывного устройства на  $i$ -ом переходе, пеш.;

$l_m$  – область личного пространства пешехода на пешеходном переходе в продольном направлении движения, м;

$n_{mp}$  – количество полос движения транспорта, которое пересекает пешеходный переход, ед.

*Этап 2. Проверка условия применения регулируемого пешеходного перехода с вызывным устройством.*

Условие введения регулируемого пешеходного перехода с вызывным устройством разработано в следующем виде:

$$n_{nu_i} \geq \frac{L_{nu_i} \cdot B_{nu_i}}{l_m \cdot n_{mp} \cdot 0,75}, \quad (6)$$

где 0,75 – фиксированная ширина личного пространства пешеходов, м [1].

При выполнении указанного условия осуществляется третий этап методики.

*Этап 3. Проведение промежуточных расчетов.*

Перечень вычисляемых значений времени движения пешеходов по переходу:

$t_{n_i}$  – время на движение пешеходов через регулируемый  $i$ -тый переход с вызывным устройством, с;

$\bar{t}_{pn_i}$  – среднее время реакции пешехода на смену сигналов пешеходного светофора по двум встречным направлениям пешеходного движения  $i$ -того перехода, с;

$t_{de_i}$  – время движения пешеходов по  $i$ -тому пешеходному переходу до встречи и начала смешанного движения, с;

$t_{cm_i}$  – время смешивания движения пешеходов по  $i$ -тому пешеходному переходу, с;

$t_{oc_i}$  – время смешанного движения пешеходов до полного исчезновения очереди на  $i$ -том пешеходном переходе, с;

$t_{pd_i}$  – время разделения смешанного движения, соответствует движению пешеходов в условиях мигания зеленого сигнала, на  $i$ -том переходе, с;

$t_{e_i}$  – продолжительность движения последнего пешехода от бордюрного камня к полному выходу с территории проезжей части с минимальной скоростью с двух встречных пешеходных потоков, на  $i$ -том переходе, с.

*Этап 4. Расчет необходимого времени движения пешеходов на зеленый сигнал пешеходного светофора с учетом разработок [1].*

Указанное время предполагает сумму значений времени:  $\bar{t}_{pn_i}, t_{\partial e_i}, t_{cm_i}, t_{oc_i}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{3n_i} = \bar{t}_{pn_i} + t_{\partial e_i} + t_{cm_i} + t_{oc_i}; \\ t_{\partial e_i} = \frac{L_{nu_i}}{V'_{nu_i} + V''_{nu_i}}; \\ t_{cm_i} = L_{nu_i} \cdot \left( \left( V'_{nu_i} + V''_{nu_i} \right) - \left( N'_{nu_i} + N''_{nu_i} \right) \cdot \frac{7,5 \cdot 10^{-5}}{B_{nu_i}} \right)^{-1}; \\ t_{oc_i} = \frac{2 \cdot 0,75}{B_{nu_i}} \cdot \left( \frac{L_{nn} \cdot N_{nu_i}^{max} \cdot t_{kp_i}^n}{\left( V_{nu_i}^{min} \right) - 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\left( N_{nu_i}^{max} \right)}{B_{nu_i}}} \right). \end{array} \right. \quad (7)$$

*Этап 5. Расчет необходимого времени для движения пешеходов в период промежуточного такта.* Указанное время предполагает сумму значений времени:  $t_{pd_i}, t_{e_i}$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{nn_i} = t_{pd_i} + t_{e_i}; \\ t_{pd_i} = \frac{L_{nu_i}}{V'_{nu_i} + V''_{nu_i}}; \\ t_{e_i} = \frac{l_{min}}{V_{nu_i}^{min}}. \end{array} \right. \quad (8)$$

*Этап 6. Корректировка значений длительности горения зеленого сигнала на пешеходном светофоре и необходимого промежуточного такта в большую сторону.*

*Этап 7. Построение циклограммы работы пешеходных светофоров.*

**Выводы.** Разработана методика проектирования регулируемого наземного пешеходного перехода с вызывным устройством, которая в отличие от существующих, шире учитывает кинематику пешеходного потока и двустороннее его направление. Кроме этого в методике предложен новый критерий для нижней границы условия введения светофорного регулирования с вызывным устройством, полученный исходя из условия одновременного прибытия к переходу пешеходов в количестве равном полному заполнению одной транспортной полосы вдоль пешеходного перехода.

### Литература

1. Кисляков В. М. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов движения / В. М. Кисляков, В. В. Филиппов, И. А. Школьянко. – М.: 1977. – 51 с.
2. Chowdhury D. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems / D. Chowdhury, L. Santen, A. Schadschneider // Phys. Rep., 2000. – V. 329. – P. 199-329.
3. Drew Donald R. Traffic Flow Theory and Control / D. Drew. – New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1968. – 467 p.
4. ДБН В.2.3-5-2001 Улицы и дороги населенных пунктов / НИПИ градостроения Госстроя Украины при участии КНУСА и УТУ. – К.: Госстрой Украины, 2001. – 50 с.
5. Романов А. Г. Методические рекомендации по регулированию пешеходного движения / А. Г. Романов, Ю. Д. Шелковый. – М.: ВНИИБД МВД, 1977. – 26 с.

6. Живоглядов В. Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков / В. Г. Живоглядов. – Ростов Н/Д.: Север. Кавказ. рег., 2005. – 1082 с.
7. Webster F. V., Cobbe B. M. Traffic Signals Road Research Technical Paper N56, HMSQ [Текст]//, London, 1966. – 111 p.

УДК 656.13

## УСЛОВИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЕВОПОВОРОТНЫХ ПОТОКОВ В ВИДЕ ОТДЕЛЬНОЙ ФАЗЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ТРЕХФАЗНОМ СВЕТОФОРНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Дудников Александр Николаевич, Легкий Сергей Анатольевич

Донецкий национальный технический университет,

Автомобильно-дорожный институт

Горловка, Донецкая Народная Республика

### Аннотация

В работе проведен анализ существующих методов организации левых поворотов в условиях движения на перекрестках на одном уровне. Установлено, что эти методы рекомендуют выделять отдельную фазу регулирования при трехфазном светофорном регулировании при интенсивности левоповоротного потока более 120 ед/ч, другие характеристики условий движения при этом не учитываются. Предложено проверочное условие необходимости обеспечения движения левоповоротных потоков в виде отдельной фазы регулирования при трехфазном светофорном регулировании учитывающее движение пешеходов на переходах, конфликтующих с соответствующим потоком поворота налево.

**Ключевые слова:** условие, поток транспортный, поворот левый, регулирование светофорное, фаза.

## THE CONDITION FOR THE NEED TO ENSURE THE MOVEMENT OF LEFT-HAND TURNING FLOWS IN THE FORM OF A SEPARATE PHASE OF REGULATION WITH THREE-PHASE TRAFFIC LIGHT REGULATION

Dudnikov Alexander, Legkiy Sergey

Donetsk National Technical University,

Automobile and Road Institute

Gorlovka, Donetsk People's Republic

### Abstract

The paper analyzes the existing methods for organizing left turns in traffic conditions at intersections at the same level. It has been established that these methods recommend separating a separate phase of regulation with three-phase traffic light regulation with an intensity of the left-hand turn flow of more than 120 units/h, other characteristics of the driving conditions are not taken into account. A test condition for the need to ensure the movement of left-turn flows in the form of a separate phase of regulation with three-phase traffic light regulation is proposed, taking into account the movement of pedestrians at crossings that conflict with the corresponding flow of turning to the left.

**Keywords:** condition, stream transport, turn left, adjusting traffic-light, phase.

**Введение.** Результаты обработки статистических данных показывают, что 75% всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП) происходит на перекрестках, из них 30% происходит на перекрестках со светофорным регулированием. При этом ДТП в условиях поворота налево имеют максимальные показатели тяжести, так как это в основном встречные столкновения автомобилей. Такие данные статистики указывают на актуальность решения задач, связанных с обеспечением безопасности дорожного движения, прежде всего, в городах на перекрестках улиц со светофорным регулированием. Решение этих задач возможно только за счет научного обоснования организации маневров изменения направления движения на перекрестках при выполнении маневра поворота налево.

Поэтому проблема обоснования условия необходимости обеспечения движения левоповоротных потоков в виде отдельной фазы регулирования при трехфазном светофорном регулировании является очень актуальной.

**Анализ предыдущих исследований.** Схемы организации движения на регулируемых перекрестках исследовали многие авторы [1–7]. В том числе схемы организации движения левоповоротных потоков.

Организация левых поворотов методом «просачивания» заключается в следующем, водитель, которому нужно повернуть налево, выезжает при зеленом сигнале светофора по центру перекрестка, и ждет или случайного перерыва в движении встречного потока, или его остановки с появлением желтого сигнала светофора, после чего заканчивает маневр. При продолжительности цикла светофорного регулирования 45 с и 75 с происходит в первом случае повышение пропускной способности левого поворота, а во втором – уменьшение. Однако, если встречный поток насыщен не полностью и в нем имеются перерывы, достаточные для безопасного выполнения маневра поворота налево, пропускная способность левоповоротные полосы растет [7].

В случае, когда интенсивность левоповоротного движения превышает два автомобиля за цикл светофорного регулирования, необходимо вводить дополнительные фазы в цикл светофора (зеленые стрелки для левоповоротного движения), т.е. организовывать трехфазное регулирование [7–9].

В современных условиях движения, когда транспортные средства имеют лучшие динамические качества, за цикл на пересечении слева успевает проехать 3 единицы. При нарушении правил дорожного движения, через перекресток налево может проходить больше автомобилей, при этом транспортные средства с других направлений могут быть задержаны на несколько секунд.

Данный недостаток снижает пропускную способность других направлений, а также резко ухудшается уровень безопасности движения. В результате необходимо исследовать выполнения маневра левого поворота на просачивание, выяснить количество автомобилей пройдет через перекресток указанным методом, и на время задерживается поток в следующей фазе.

Организация левых поворотов методом «отсечки потоков» позволяет решать эту задачу практически без потерь. Этот метод заключается в следующем. В первой фазе движение разрешено для двух направлений. Транспортные средства на одном направлении, ожидающих левого поворота, как правило, находятся близко к середине проезжей части. Промежуточный тakt первой фазы начинается с зеленого мигания для одного направления, на 2-й секунде транспортные средства, которые находятся за стоп-линией на другом направлении, включая и левый поворот, продолжают движение. Такое увеличение на 3 секунды с помощью зеленого дополнительного сигнала времени для второго направления позволяет разгрузить левоповоротное движение интенсивностью до 200 единиц в час при времени цикла светофора 60 с.

Следует отметить, что водители транспортных средств, выполняющих левый поворот, достаточно быстро привыкают к такой сигнальной программе и не создают препятствий основному движению [7].

Алгоритм регулирования методом «уплотнения потоков» заключается в следующем. Три соседних пересечения соединяются между собой по линии связи. На первом и третьем пересечении схема движения организуется так, чтобы на время «а» не двигались автомобили в сторону второго (центрального) перекрестка.

Тем самым создается разрыв между пачками автомобилей. Пачка, проезжая перекресток номер два в прямом направлении проходит пересечение с плотностью потока насыщения, при этом следующая пачка еще не прибыла, то есть остается время для горения зеленого сигнала, используется для поворота автомобилей слева. Указанное возможно, если обеспечена управляющая связь между перекрестками, нагрузка на прямой поток не более 0,7–0,8, так как большие расстояния между перекрестками не позволяют сформировать разрывы

между пачками.

Как указано выше, при интенсивности движения на лево методом «просачивания» более двух единиц в цикл, необходимо вводить дополнительную фазу, в которой будет осуществляться левый поворот без конфликта, т.е. обеспечивать трехфазное регулирование.

Сначала применяется трехфазная схема движения с одним левым поворотом (другие левые повороты запрещены). Безопасность пешеходов при этом вполне обеспечена на всех четырех пешеходных переходах, левый поворот и все четыре правых осуществляются одновременно во II фазе, причем здесь сохраняется движение в одном из прямых направлений [8; 9].

Чаще применяется другая схема трехфазной организации движения с так называемым «соединенным» левым поворотом.

В этом случае вполне обеспечена безопасность пешеходов, потому что все четыре правых поворота и два левых из встречных направлений осуществляются в III фазе, когда на светофоре включен период «вокруг красный» и включены две стрелки левых поворотов [7].

Следует отметить, что в современных условиях при высоких интенсивностях движения в и узкой ширине полос движения, повсеместной отсутствии дорожной разметки, фазы с одновременным движением левого и правого поворотов на двух полосную проезжую часть довольно опасны. Поэтому управление по указанной схеме практически не применяется.

Существует два метода осуществления левых поворотов в случае запрета их знаками: объезд квартала и оттягивание левого поворота на перекрестке.

В городах нередко организуют отвод левого поворота с перекрестка методом «объезда квартала». Иногда это бывает целесообразно, например, в случае, если на основном перекрестке имеется поворотное движение трамвая и сохраняется левый поворот, что приводит к введению дополнительной фазы работы светофоров. Во всех случаях организации левоповоротного движения с объездом квартала характеризуется неизбежными дополнительными пробегами транспортных средств. Кроме того, особенно в тех случаях, когда левый поворот организован путем объезда квартала до перекрестка, необходимо заблаговременная информация водителей об особенностях левого поворота в данном месте с помощью дорожных знаков и указателей [7–9].

В практике организации дорожного движения применяется метод «отдаленных» левых поворотов. Необходимым условием для выполнения такого маневра является достаточная ширина проезжей части хотя бы одной улицы (желательно не менее 25 метров). При этом левый поворот сначала осуществляется путем движения вправо, затем поток постепенно перестраивается в крайний левый ряд, разворачивается и дальше едет прямо в нужном направлении.

Объездные и отдаленные левые повороты при современных значениях интенсивности потоков и стереотипе поведения водителей, плохо «приживаются» [6]. То есть водители нарушают правила дорожного движения, что создает проблемы. Следует отметить, что объездные повороты перегружают другие перекрестки, и в перенасыщенных сетях оттягивание поворотов приводит к дополнительным проблемам.

Метод расчета цикла с несколькими фазами (в том числе и тремя) Вебстера основан на использовании фазовых коэффициентов и потерянного в цикле времени (сумма переходных интервалов). Длительность цикла рассчитывается по формуле [5]:

$$T_u = \frac{1,5 \cdot L + 5}{1 - Y}, \text{ с,} \quad (1)$$

где  $Y$  – сумма наибольших фазовых коэффициентов в отдельных фазах;

$L$  – суммарное потерянное время в цикле, с.

Длительность основных тактов пропорциональна значениям фазовых коэффициентов [5; 6]. Под фазовым коэффициентом понимают отношение интенсивности движения к потоку насыщения в данном направлении данной фазы регулирования [5]. Фазовый коэффициент, по сути, является аналогом уровня загрузки конкретного направления движением в долях

единицы.

Продолжительность основного такта определяется, по формуле [5]:

$$t_3 = T_u \cdot y_1 \cdot K, \text{ с}, \quad (2)$$

где  $K$  – долевой коэффициент длительности цикла светофорного регулирования для конкретной фазы регулирования;

$y_1$  – фазовый коэффициент по максимальному отношению приведенной интенсивности к потоку насыщения в конкретной фазе регулирования.

Долевой коэффициент рассчитывается по соотношению [5]:

$$K = \frac{T_u \cdot L}{T_u - 1,5 \cdot L - 5}. \quad (3)$$

С учетом предположения о постоянном замедлении при торможении транспортного средства перед стоп-линией формулу для определения длительности промежуточного такта записывают в следующем виде [5]:

$$t_n = \frac{V_a}{7,2 \cdot a_m} + \frac{3,6 \cdot (l_i + l_a)}{V_a}, \text{ с}, \quad (4)$$

где  $V_a$  – средняя скорость транспортных средств при движении на подходе к перекрестку и в зоне перекрестка без торможения (с ходу), м/с;

$a_m$  – среднее замедление транспортного средства при включении запрещающего сигнала, м/с<sup>2</sup>;

$l_i$  – расстояние от стоп-линии до самой дальней конфликтной точки, м;

$l_a$  – длина транспортного средства, наиболее часто встречающегося в потоке, м.

Основным недостатком методики в виде (1) является использование эмпирических соотношений, что упрощает вычисления и снижает точность расчетов.

Проведенный анализ показал, что теоретической основой организации левоповоротного движения в виде соответствующей фазы регулирования при трехфазном светофорном регулировании является норма 120 ед/ч интенсивности левоповоротного движения, при превышении которой принимается решение по организации третьей фазы регулирования соответствующего маневра. Другие характеристики условий движения в организации светофорного регулирования не учитываются.

**Целью исследования** является обоснование условия необходимости обеспечения движения левоповоротных потоков в виде отдельной фазы регулирования при трехфазном светофорном регулировании.

**Основные результаты исследования.** Предлагается в условии необходимости обеспечения движения левоповоротных потоков в виде отдельной фазы регулирования при трехфазном светофорном регулировании учесть движение пешеходов на переходах, конфликтующих с соответствующим потоком поворота налево.

Анализ наблюдений за скоростью передвижения пешеходов показывает, что она распределяется в соответствии с нормальным законом распределения. При этом скорость пешеходного потока уменьшается с ростом интенсивности движения. Это объясняется тем, что для сохранения комфорта личного пространства пешеходу необходимо уменьшать скорость движения в наиболее плотном потоке [10].

Связь между средней скоростью пешехода в потоке и интенсивностью может быть выражена формулой [10]:

$$V(\lambda_0) = V_0 - 0,0001 \cdot \lambda_0, \text{ м/с}, \quad (5)$$

где  $V_0$  – средневзвешенная по составу скорость свободного движения пешехода, м/с;

$$V_0 = \sum_i V_{0i} \cdot p_i, \text{ м/с}, \quad (6)$$

где  $p_i$  – содержание в потоке пешеходов  $i$ -й возрастной группы;

$V_{0,i}$  – скорость свободного движения пешеходов  $i$ -й группы, м/с;

$\lambda_{\delta}$  – интенсивность движения пешеходов по полосе шириной 0,75 м за 1 ч, пеш/ч;

0,0001 – коэффициент уменьшения скорости через некоторые препятствия со стороны других пешеходов.

В связи с тем, что вторую составляющую зависимости (5) можно опустить, то она примет вид [10]:

$$V(\lambda_{\delta}) = V_0, \text{ м/с.} \quad (7)$$

Максимальная скорость приходится на возраст 20–30 лет, а минимальная – возраст 60–70 лет [10]. Установлено, что распределение скоростей движения пешеходов в аналогичных ситуациях в пределах возрастной группы подчиняется нормальному закону.

Определение средней скорости движения групп пешеходов, пересекающих проезжую часть, необходимо проводить, фиксируя время движения от тротуара до тротуара или к разделительной полосе [10].

В расчетах средняя скорость пешехода, который движется по наземному пешеходному переходу, принимается – 1,4 м/с [10].

Под плотностью пешеходного движения необходимо понимать количество людей, приходящихся на единицу площади пешеходного пути [10]:

$$D = \frac{Q}{F}, \text{ чел/м}^2, \quad (8)$$

где  $Q$  – количество людей, которые приходятся на единицу площади пешеходного пути, чел.;

$F$  – площадь пешеходного пути, м<sup>2</sup>.

Общая загрузка пешеходного перехода характеризуется интенсивностью пешеходного движения, которая определяется по формуле [10]:

$$N = \frac{Q_{ob}}{t}, \text{ пеш/ч,} \quad (9)$$

где  $Q_{ob}$  – количество людей, которые прошли через поперечное сечение пешеходного пути за время обследования, пеш.;

$t$  – продолжительность обследования (в течение одного часа), ч.

Расчетной характеристикой является удельная интенсивность движения, которая определяется по следующей формуле [10]:

$$n = \frac{N \cdot b}{b_n}, \text{ пеш/ч,} \quad (10)$$

где  $N$  – интенсивность пешеходного движения, пеш/ч;

$b_n$  – общая ширина пешеходного пути, м;

$b$  – ширина полосы пешеходного движения, м.

Коэффициент суточной неравномерности движения определяется из следующего выражения [10]:

$$K_c = \frac{N}{N_c}, \quad (11)$$

где  $N_n$  – интенсивность пешеходного движения в «час пик», пеш/ч;

$N_c$  – среднесуточная интенсивность пешеходного движения, пеш/ч.

Коэффициент часовой неравномерности движения определяется по следующему выражению [10]:

$$K_{\varepsilon} = \frac{4 \cdot N_{15}}{N_n}, \quad (12)$$

где  $N_{15}$  – интенсивность движения в 15-минутный период «часа пик», в течение которого наблюдается максимальная интенсивность, пеш/ч.

Траектория перехода пешеходами проезжей части может быть под углом к продольной оси линии дороги и даже криволинейной.

Количество пешеходов, которые образовали очередь в ожидании зеленого сигнала светофора на  $i$ -м переходе в  $j$ -й фазе регулирования:

$$n_{nni,j} = t_{u,j} \cdot N_{nni,j}, \text{ пеш.,} \quad (13)$$

где  $t_{u,j}$  – продолжительность красного сигнала, с;

$N_{nni,j}$  – интенсивность движения пешеходов на  $i$ -ом переходе, пеш/с.

С учетом характеристик предыдущей фазы светофорного регулирования получим:

$$n_{nni,j} = (t_{o,j-1} + t_{n,j-1}) \cdot N_{nni,j}, \text{ пеш.,} \quad (14)$$

где  $t_{o,j-1}$  – продолжительность основного такта в предыдущей фазе ( $j-1$ ) светофорного регулирования, с;

$t_{n,j-1}$  – продолжительность промежуточного такта в предыдущей фазе ( $j-1$ ) светофорного регулирования, с.

Время необходимое на движение очереди пешеходов в количестве, определенном по (13), через  $i$ -й переход в  $j$ -й фазе:

$$t_{nni,j} = t_{pn} + t_{mn} + t_{Ln} + t_{nn}, \text{ с,} \quad (15)$$

где  $t_{pn}$  – среднее арифметическое время реакции пешеходов на смену сигналов пешеходного светофора с красного на зеленый, с;

$t_{mn}$  – среднее время начала движения очереди пешеходов, с;

$t_{Ln}$  – среднее время движения первого пешехода из очереди пешеходов через пешеходный переход, находящийся на конфликтном направлении левоповоротного потока, с;

$t_{nn}$  – среднее время движения пешеходов из очереди через пешеходный переход, находящийся на конфликтном направлении левоповоротного потока, с.

Среднее время движения первого пешехода из очереди пешеходов через пешеходный переход, находящийся на конфликтном направлении левоповоротного потока можно рассчитать по следующей формуле:

$$t_{Ln} = \frac{B_{ni} + L_{oni} + L_{ni}}{V_{nni,j}}, \text{ с,} \quad (16)$$

где  $B_{ni}$  – длина  $i$ -го пешеходного перехода, м;

$L_{oni}$  – расстояние от места скопления очереди пешеходов до края проезжей части для  $i$ -го перехода, м;

$L_{ni}$  – длина личного пространства пешехода в прямом направлении  $i$ -го перехода, м;

$V_{nni,j}$  – средняя скорость движения очереди пешеходов на  $i$ -м переходе, м/с.

Среднюю скорость движения очереди пешеходов  $V_{nni,j}$  на  $i$ -м переходе будем определять по (5)–(7).

Среднее время движения пешеходов из очереди через пешеходный переход, находящийся на конфликтном направлении левоповоротного потока можно определить по следующей формуле:

$$t_{nn} = \frac{n_{nni,j} \cdot L_{ni}}{m_{nni,j} \cdot V_{nni,j}}, \text{ с,} \quad (17)$$

где  $m_{nni,j}$  – максимальное количество пешеходов в один ряд на  $i$ -м пешеходном

переходе определенной ширины в  $j$ -й фазе, с.

Согласно значения (15) с учетом значений (16) и (17) запишем общую формулу определения времени, необходимого на движение очереди пешеходов по соответствующему переходу:

$$t_{nni,j} = t_{pn} + t_{mn} + \frac{B_{ni} + L_{oni} + L_{ni}}{V_{nni,j}} + \frac{n_{nni,j} \cdot L_{ni}}{m_{nni,j} \cdot V_{nni,j}}, \text{ с.} \quad (18)$$

Значения (18) не учитывает некоторую специфику движения пешеходов на переходе. Пешеходы могут ускорять шаг с соответствующим увеличением скорости своего движения и могут с учетом изменений сигналов на пешеходном светофоре вернуться к началу перехода, или при наличии разделительной полосы или определенной ширины проезжей части пешеходы могут остановиться в пределах островков безопасности.

Указанные исследования рассматривал российский специалист Ю.А. Кременец [7], предложивший формулу определения минимального времени, которое потребуется пешеходу, чтобы либо вернуться на тротуар, откуда он начал движение, или дойти до середины проезжей части:

$$t_n^O = 5 + \frac{B_n}{V_n}, \text{ с,} \quad (19)$$

где  $B_n$  – ширина проезжей части, пересекаемой пешеходами в фазе регулирования, м;  $V_n$  – расчетная скорость пешеходов, м/с; предложено в [7] принимать равной 1,3 м/с.

Продолжительность промежуточного такта пешеходной фазы в трехфазном светофорном регулировании предлагается в [7] рассчитывать по формуле:

$$t_n^n = \frac{B_n}{4 \cdot V_n}, \text{ с.} \quad (20)$$

С учетом опытов Ю.А. Кременца (19) и (20) проведем уточнение (18) в рамках четырехкратного уменьшения ширины пешеходного перехода с учетом возможности остановки в середине перехода и перехода или возвращения на образованных половинах перехода:

$$t_{nni,j} = t_{pn} + t_{mn} + \frac{B_{ni} + L_{oni} + L_{ni}}{4 \cdot V_{nni,j}} + \frac{n_{nni,j} \cdot L_{ni}}{4 \cdot m_{nni,j} \cdot V_{nni,j}}, \text{ с.} \quad (21)$$

С учетом полученных результатов проведем уточнения методики выбора способа движения транспортных средств, при выполнении левого поворота с учетом имеющегося пешеходного движения.

Требование организации отдельной фазы светофорного регулирования для разъезда левоповоротных потоков примет вид:

если  $t_{nni,j} \geq t_{nni,j}$

$$t_{nni,j} > t_{oj} + t_{nj} - t_{nni,j}; \quad (22)$$

если  $t_{nni,j} < t_{nni,j}$

$$t_{nni,j} > t_{oj} + t_{nj} - t_{nni,j}. \quad (23)$$

С учетом (22) и (23) будут иметь следующий вид:

$$t_p + t_m + \frac{L_{li} + L_{ri} + L_{2i}}{V_{nni,j}} + \frac{n_{nni,j} \cdot \bar{L}_a + (n_{nni,j} - 1) \cdot \bar{D}_a}{V_{nni,j}} > t_{oj} + t_{nj} - t_{nni,j}; \quad (24)$$

$$t_p + t_m + \frac{L_{li} + L_{ri} + L_{2i}}{V_{nni,j}} + \frac{n_{nni,j} \cdot \bar{L}_a + (n_{nni,j} - 1) \cdot \bar{D}_a}{V_{nni,j}} > t_{oj} + t_{nj} - t_{nni,j}. \quad (25)$$

В случае выполнения условий (24) и (25) в двухфазном светофорном регулировании

необходимо применять дополнительную третью фазу, которая обеспечивает соответствующий разъезд транспортных средств в левоповоротных потоках и образуется соответствующее трехфазное светофорное регулирование.

Таким образом, получим условие обеспечения движения левоповоротных потоков в виде отдельной фазы регулирования с соответствующей организацией продолжительности цикла в виде трехфазного светофорного регулирования:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } t_{3ni,j} \geq t_{nni,j}; \\ t_p + t_m + \frac{L_{1i} + L_{ri} + L_{2i}}{V_{nni,j}} + \frac{n_{nni,j} \cdot \bar{L}_a + (n_{nni,j} - 1) \cdot \bar{D}_a}{V_{nni,j}} > t_{oj} + t_{nj} - t_{3ni,j}; \\ \text{если } t_{3ni,j} < t_{nni,j}; \\ t_p + t_m + \frac{L_{1i} + L_{ri} + L_{2i}}{V_{nni,j}} + \frac{n_{nni,j} \cdot \bar{L}_a + (n_{nni,j} - 1) \cdot \bar{D}_a}{V_{nni,j}} > t_{oj} + t_{nj} - t_{nni,j}; \\ t_{3ni,j} = t_p + t_m + \frac{L_{kmi}}{V_{3ni,j}} + \frac{n_{3ni,j} \cdot \bar{L}_a + (n_{3ni,j} - 1) \cdot \bar{D}_a}{V_{3ni,j}}; \\ t_{nni,j} = t_{pn} + t_{mn} + \frac{B_{ni} + L_{oni} + L_{ni}}{4 \cdot V_{nni,j}} + \frac{n_{nni,j} \cdot L_{ni}}{4 \cdot m_{nni,j} \cdot V_{nni,j}}. \\ n_{nni,j} = t_{kj} \cdot N_{nni,j}; \quad n_{3ni,j} = t_{kj} \cdot N_{3ni,j}; \quad n_{nni,j} = t_{kj} \cdot N_{nni,j}. \end{array} \right. \quad (26)$$

Формула (26) позволяет принять обоснованное решение о необходимости трехфазного светофорного регулирования с фазой левоповоротного движения.

**Выводы.** Обоснованы условия необходимости обеспечения движения левоповоротных потоков в виде отдельной фазы регулирования при трехфазном светофорном регулировании. Новизна данного научного результата заключается в учете движения пешеходов на переходах, конфликтующих с соответствующим потоком поворота налево.

### Литература

1. Живоглядов В. Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков / В. Г. Живоглядов. – Ростов Н/Д.: Север. Кавказ. рег., 2005. – 1082 с.
2. Gazis D. S. Traffic Science / D. S. Gazis. – N.Y.: Wiley, 1974. – 470 р.
3. Лобанов Е. М. Проектирование и изыскания пересечений автомобильных дорог / Е. М. Лобанов и др. – М.: Транспорт, 1972. – 232.
4. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
5. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. ВСН 39-67. Минавтошосдор РСФСР. – М.: Транспорт, 1968. – 96 с.
6. Хомяк Я. В. Организация дорожного движения / Я. В. Хомяк. – К.: Вища шк., 1986. – 271 с.
7. Webster F. V., Cobbe B. M. Traffic Signals Road Research Technical Paper N56, HMSQ [Текст] //, London, 1966. – 111 р.
8. Метсон Т. М. Организация движения / Т. М. Метсон, У. С. Смит, Ф. В. Хард. – М.: Автотранзиздат, 1960. – 464 с.
9. Drew Donald R. Traffic Flow Theory and Control / D. Drew. – New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1968. – 467 р.
10. Кисляков В. М. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов движения / В. М. Кисляков, В. В. Филиппов, И. А. Школьяненко. – М.: 1977. – 51 с.

УДК 66

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИЭТИЛЕНА ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Долженко Кристина Кястучио

Донской государственный технический университет,  
Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове,  
Азов, Россия

### **Аннотация**

Полиэтилен – один из самых первых из крупнотоннажных и самый распространенный полимерный материал. В настоящей статье описан способ создания полимерных материалов с заданными свойствами путем модификации бифункциональными кремнийорганическими соединениями. Плотность сетки при этом нарастает при постоянной структурно-морфологической организации полимера.

**Ключевые слова:** полиэтилен, фазовая структура, модификация сшивкой.

## CHANGE IN THE STRUCTURE OF POLYETHYLENE BY MODIFICATION WITH BIFUNCTIONAL ORGANOSILICON COMPOUNDS

**Dolzhenko Kristina Kyastuchio**

Don state technical University,  
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov  
Azov, Russia

### **Abstract**

*Polyethylene is one of the very first large-capacity and the most widespread polymer material. This article describes a method for creating polymeric materials with desired properties by modification with bifunctional organosilicon compounds. In this case, the density of the network increases with a constant structural and morphological organization of the polymer.*

**Keywords:** polyethylene, phase structure, modification of crosslinking.

Перспективным направлением создания полимерных материалов с заданными свойствами, в частности, повышенной деформационной теплостойкостью, является модификация крупнотоннажных полимеров. Успешно развивается способ модификации полиэтилена сшивкой.

По сравнению с несшитыми полимерами сшитый полиэтилен отличается такими эксплуатационными характеристиками как повышенная механическая прочность, стойкость к действию повышенных температур и агрессивных сред.

Эти свойства сшитого полиэтилена позволяют повысить качество изделий из него и расширить области их эффективного применения.

Такие материалы находят широкое применение при производстве электрических проводов и кабелей.

Получение изделий на основе полиэтилена с улучшенными эксплуатационными свойствами возможно за счет химической модификации его бифункциональными кремнийорганическими соединениями с винильными и гидроксильными группами (КОС) [1,2].

С использованием интерференционного микрометода для изучения кинетики фазовых превращений были построены диаграммы состояния для бинарных систем ПЭ – КОС-1; ПЭ – КОС-5.

С учетом соответствия молекулярной массы КОС-5 и КОС-1 растворимость последнего выше, чем КОС-5.

При температуре переработки ПЭ (~200°C) для КОС-5 – растворимость достигает 9-11 об. %, а КОС-1 – 21-26 об. %.

В том и в другом случае растворимость добавки с повышением температуры возрастает, а при  $t$  200-240°C наблюдается незначительная инверсия фаз, сопровождающаяся растворимостью полиэтилена в соответствующих жидкостях.

Такой характер изменения растворимости с температурой свидетельствует о том, что системы ПЭ – КОС-5 и ПЭ – КОС-1 относятся к системам с верхней критической температурой совместимости (ВКТС).

При переходе от температур переработки к температуре кристаллизации ПЭ растворимость КОС существенно изменяется и для КОС-5 при 125°C составит 1-2%, а для КОС-1 – 8-9 %.

Если предположить, что молекулярная масса компонентов в процессе переработки и последующего охлаждения не меняется, то можно ожидать, что фазовый распад системы произойдет при концентрации КОС-5 и КОС-1 4% (соотношение 1:1) только по первому компоненту и при температуре ниже Тпл. (после кристаллизации растворимость уменьшается на величину степени кристалличности).

Однако как было показано в работе [3] с уменьшением молекулярной массы КОС их растворимость в расплаве полимера резко снижается, поэтому можно ожидать, что бинодальная кривая в процессе образования привитых структур сдвигается ближе к оси ординат, а зона совместимости уменьшается.

Доказательства правильности высказанного предположения были получены при исследовании изменения структуры ПЭ под действием КОС методом электронной микроскопии [4, 5].

Электронные микрофотографии образцов показывают фазовые выделения КОС в виде глобулярных образований.

Процесс сшивания приводит к слабому изменению фазовой структуры. Сферические образования в первом приближении сохраняют свои размеры, мало изменяется и их объемная доля. На основании этих результатов можно сделать вывод, что фазовый распад протекает достаточно интенсивно уже на стадии получения привитого полимера, а сшивание фиксирует создавшуюся структуру, т.е. плотность сетки нарастает при постоянной структурно-морфологической организации полимера.

## Литература

1. Чулеева Е.В., Василец Л.Г. Использование кремнийорганических соединений для получения сшивающихся полиолефинов. // Вестник НТУ «ХПИ» - Харьков: НТУ «ХПИ» №127.-2000 - с.10-12.
2. Василец Л.Г., Ицелев О.И., Ларионова Т.Ф., Остренко Л.В. Получение пространственно-структурных полиолефинов для кабельных композиций. // Вестник НТУ «ХПИ»-Харьков: НТУ «ХПИ» №7.-2004 - с.64-72.
3. Высокомолекулярные соединения – 1985-Т.12А, №11. - с.825-830.
4. Долженко А.М., Дроздов Н.А. Математический метод решения задач механики композиционных материалов / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2018. Т. 20. № 4-2 (10). С. 43-47.
5. Долженко А.М. Полимерсодержащая смазка для деформационной обработки труб из нержавеющих марок стали / Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике. 2020. Т. 6. № 1 (5). С. 93-95.

## АЛМАЗСОДЕРЖАЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Долженко Артем Михайлович

Донской государственный технический университет,  
Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове,  
Азов, Россия

### *Аннотация*

*Создание инструмента из сверхтвердых материалов охватывает широкий круг вопросов. Основными являются: разработка теоретических основ и экспериментальные исследования процессов формирования абразивсодержащих композиционных материалов, разработка связок абразивного инструмента и технологических процессов его изготовления. исследования позволили разработать гамму инструментов из композиционных материалов, которые успешно используются при обработке легированных железоуглеродистых сплавов.*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, гальванические связки, сверхтвердые материалы.

## DIAMOND-CONTAINING COMPOSITE MATERIALS FOR TOOL PURPOSE

**Dolzhenko Artem Mikhailovich**

Don state technical University,  
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov  
Azov, Russia

### *Abstract*

*The creation of a tool from superhard materials covers a wide range of issues. The main ones are: the development of theoretical foundations and experimental studies of the formation processes of abrasive-containing composite materials, the development of bundles of abrasive tools and technological processes of its manufacture. research allowed to develop a range of tools made of composite materials, which are successfully used in the processing of alloyed iron-carbon alloys.*

**Keywords:** composite materials, galvanic bonds, superhard materials.

Инструмент из традиционных абразивов – карбида кремния и электрокорунда – выпускается, как правило, на керамических связках, в качестве связующих в которых применяются силикатные стеклообразующие системы. Это обусловлено высоким химическим сродством расплавов силикатов к  $\text{SiC}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Однако традиционные абразивы имеют значительно ниже твердость, прочность и абразивную способность, чем порошки алмазов и композитных материалов. Поэтому, используя в качестве абразивных материалов алмазы и композиционные материалы, достигаются более высокая производительность и качество обработанной поверхности. При этом стойкость инструмента из сверхтвердых материалов (СТМ) в десятки и сотни раз выше, чем из  $\text{SiC}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Однако, используя порошки СТМ с хорошими режущими свойствами, инструмент может работать неэффективно из-за неправильно выбранной связки.

Методология разработки алмазсодержащих композитов заключается в следующем:

- термодинамическая оценка и термохимические исследования процессов, происходящих при формировании алмазсодержащих композиционных материалов (АКМ);
- исследования смачивания и контактного взаимодействия твердых фаз (алмаз, композиционные материалы, наполнитель) с расплавом связующих;
- изучение структуры и свойств материалов;
- исследование прочности удержания зерен СТМ в связке;
- оценка возможности химического взаимодействия связки, зерен СТМ с

обрабатываемыми материалами;

– установление технологических параметров формирования рабочего слоя инструмента из СТМ с прогнозируемыми свойствами.

Приведенная методология применяется для разработки композиционных материалов из СТМ на органических, металлических, керамических и гальванических связках.

Инструмент, изготовленный на основе алмазсодержащих композиционных материалов на органической связке используется на предприятиях машиностроительной промышленности и потребление его составляет 70 % всего выпускаемого алмазного инструмента.

В качестве связующего используются органические смолы, отличающиеся между собой физико-механическими свойствами, температурой деструкции, смачивающей способностью к поверхности алмаза и композитных материалов, температурой полимеризации и т. д.

В зависимости от свойств обрабатываемых материалов в качестве связующих применяют те или иные смолы для изготовления алмазных инструментов. В последнее время разработана гамма алмазсодержащих композитов для изготовления хонинговых брусков, кругов для эффективной заточки дереворежущего инструмента, кругов (d 600 мм) прямого профиля для обработки каландровых валов бумагоделательных машин, двухслойных кругов и других инструментов различного функционального назначения.

В институте продолжаются работы по созданию новых композитов на основе каучуков. Проводятся исследования по совмещению полярных каучуков с термопластичными и термореактивными полимерами. В таких алмазсодержащих композитах на каучуковой основе сочетается пластичность с высокой износостойкостью инструмента.

В институте систематически проводятся работы по совершенствованию и разработке алмазсодержащих композитов на металлических связках, технологии изготовления инструмента на их основе. Из работ проводимых в этом направлении заслуживают внимания исследования направленные на изучение кинетики и механизма экзотермических реакций, протекающих между металлическими порошками, с целью разработки ресурсосберегающей технологии изготовления инструмента из СТМ на металлической связке.

Продолжаются работы по исследованию процесса прокатки гетерогенных смесей, наполненных высокомодульными составляющим (алмазы, нитриды, карбиды и т. д.). Алмазсодержащий композиционный материал – прокат служит основой для изготовления различных инструментов, широко применяемых в различных отраслях промышленности. Это в первую очередь отрезные круги диаметром 5,0-125 мм, толщиной 0,03-4,00 мм, планшайбы, заточные и шлифовальные круги и другие виды инструмента.

К металлическим связкам относятся гальванические связки, где в качестве связки, как правило, используется электролитический никель. Уникальность технологии гальванистегии состоит в том, что алмазные порошки можно закрепить на стальных изделиях любой геометрической формы. В настоящее время на гальванической связке в институте изготавливаются сверла, отрезные круги для резки стеклопластиков, планшайбы, надфили, развертки, алмазные головки любых форм и размеров и другие виды инструментов. Проведенные исследования позволили разработать гамму инструментов из композитных материалов, которые успешно используются при обработке легированных железоуглеродистых сплавов.

### **Литература**

1. Оболенская А.А., Рыбалко К.К. Исследование свойств механически легированных сталей / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2017. Т. 7. № 4-1 (6). С. 16-19. 7

2 . Рыбалко К.К. Метод контрольных испытаний оболочек на основе модели хрупкого разрушения / Инновационные технологии в машиностроении, образовании и экономике. 2017. Т. 8. № 4-2 (6). С. 34-37.

УДК 51-7

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

**Мельник Алина Александровна**

Донской государственный технический университет,  
Технологический институт (филиал) ДГТУ в г. Азове,  
Азов, Россия

### **Аннотация**

*Статья посвящена изучению различных методов экспертных оценок и практической реализации метода при разработке программного продукта.*

**Ключевые слова:** Экспертные оценки, метод «Дельфи», программная реализация.

## **PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF EXPERT ASSESSMENTS IN THE DEVELOPMENT OF SOFTWARE SYSTEMS**

**Melnik Alina Aleksandrovna**

Don state technical University,  
Technological Institute (branch) of DSTU in Azov  
Azov, Russia

### **Abstract**

*The article is devoted to the study of various methods of expert evaluation and practical implementation of the method in the development of a software product.*

**Keywords:** Expert assessments, Delphi method, software implementation.

Есть много способов, чтобы получить оценки экспертов. В некоторых случаях, каждый эксперт работает в одиночку; в других - экспертов собирают вместе для подготовки материалов, обсуждают вопросы друг с другом, учатся друг у друга и исключают неправильные мнения. В некоторых методах число экспертов фиксировано для того, чтобы статистический метод, используемый для проверки согласованности мнений, позволил принять обоснованное решение. В других - число экспертов растет в процессе исследования.

В настоящее время не существует научной классификации методов оценки экспертов, и, кроме того, не существует четких рекомендаций для их применения.

Выделяют две группы экспертных оценок:

- индивидуальные оценки опираются на мнения независимых экспертов. В некоторых случаях, специалисты могут индивидуально быть очень полезны как источники информации и как консультант, принимающий решения. Несмотря на то, что работа будет сделана специалистом, он, по сути, обобщает мнения многих людей, и предоставляет исходные данные для анализа;
- коллективные оценки основаны на использовании мнений коллективных экспертов;

Оценки экспертов, могут быть получены с помощью опроса специалистов разных профессий. Групповые экспертные опросы можно разделить на три категории:

- открытое обсуждение вопросов, связанных с открытым или закрытым голосованием;
- обсуждения «за закрытыми дверьми» или тайное голосование;
- свобода выражения мнений без обсуждения или голосования.

Опыт показал, что традиционный подход обсуждения вопросов, поднятых группой экспертов, которые попадают в первую категорию экспертных оценок не лучший способ использовать специалистов, прежде чем достичь какого-то соглашения между ними, или до формирования общей позиции. Эти методы обслуживания содержат ряд недостатков, таких как взаимодействие мнений экспертов и нежелание участников отказаться от мнения, ранее высказанные публично. Как результат, на практике, по оценкам экспертов категории II и III становят все более и более распространенными, когда принимаются решения по широкому кругу вопросов.

Общее мнение является более точным, чем мнение каждого эксперта. Этот метод используется, чтобы получить максимальное количество качественных оценок.

Существующие типы можно классифицировать по признакам:

- в зависимости от формы участия экспертов: как в режиме реального времени, что позволяет сосредоточить внимание экспертов на проблеме и повышает качество результатов, так и дистанционно, что может быть дешевле;
- в зависимости от процесса повторений процедур для повышения точности либо множественное повторение, либо один шаг;
- оценивать объекты по типу ответов: идеология, классификация, шкала относительности или абсолютной (числовой) шкале.

Способов обработки мнений экспертов может быть прямой и аналитический. Количество экспертов, участвующих в процессе: неограниченный и ограниченный. Как правило, привлекаются от 3 до 12 специалистов.

Примеры самых известных методов для оценки экспертов: метод «Дельфи» и мозгового штурма. Каждый метод имеет свой срок и требует специалистов.

Суть подхода «Дельфи» является использование целого ряда действий-опросов, интервью, мозговых штурмов, чтобы добиваться максимального консенсуса при определении правильного решения. Анализ метода «Дельфи» проводится в несколько этапов, результаты обрабатываются с помощью статистических методов. Основным принципом метода является то, что некоторое количество независимых экспертов (часто незнакомых друг с другом) оценивают и прогнозируют лучше результаты. Метод позволяет избежать открытых конфликтов между владельцами противоположных позиций, поскольку исключает прямой контакт между специалистами. Таким образом, влияние группы, которые возникают, когда они работают вместе, в том числе адаптация к мнению большинства, делает возможным проводить исследования экстерриториально, без сбора специалистов в одном месте.

Другой вариант для оценки экспертов – это мозговой штурм. Организуется как собрание экспертов с единственным, но очень значительным условием – невозможность критиковать мнения других экспертов. Допускается развить их, выразить свои мысли, но не подвергать осуждению предложение других экспертов. В ходе встречи эксперты, «заражая» друг друга, выражают все более и более интересные идеи.

Использование метода «Дельфи» путем математической обработки результатов опроса позволяет более точно оценить мнения экспертов и прийти к «золотой середине». Предположим, необходимо определить последовательность разработки программного продукта, результаты занести в таблицу 1. Исходные данные процесса – группа экспертов, состоящая из 9 специалистов и 12 последовательных задач, цифрами отмечены ранги (субъективные оценки) экспертов.

Далее необходимо определить количество одинаковых оценок одного эксперта  $Q_i$ , и количеством рангов в каждом столбце, то есть количеством групп повторяющихся оценок  $t_i$ . По формуле 1 производится вычисление значение показателя эксперта.

$$T_i = \sum_{q_i=1}^{Q_i} t_{q_i}^3 - t_{q_i} \quad (1)$$

Таблица 1- Исходные данные

№ зл	Эксперты								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	2	1	3	1	2	1
2	2	1	1	2	1	2	2	1	2
3	5	5	6	5	6	6	5	6	6
4	4	4	2	2	2	4	4	4	5
5	4	4	5	5	5	6	5	6	4
6	5	5	6	5	5	5	5	6	5
7	5	5	5	5	4	6	5	4	5
8	3	2	3	2	3	3	2	4	2
9	3	3	4	4	4	2	3	4	2
10	1	1	1	2	1	2	2	2	1
11	4	2	5	5	1	5	5	3	2
12	2	4	5	5	5	2	5	6	2
Qi	5	4	3	2	3	4	2	3	3
t1i	2	3	3	5	4	4	3	2	2
t2i	2	2	4	6	2	2	6	4	5
t3i	2	3	2		3	2		4	3
t4i	3	3				3			
t5i	3								
t6i									
Ti	48	77	92	330	89	96	240	126	152

После ряда проведенных вычислений, на основании полученных результатов, составляется таблица 2.

Таблица 2 Полученные результаты в ходе вычисления

№ задания	Эксперты											Очередь	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sj	Bj	Bj <sup>2</sup>	
1	1,5	2	2	3	2,5	5,5	1	2,5	1,5	22	37	1369	1
2	3,5	2	2	3	2,5	2,5	3	1	5	25	34	1156	3
3	11	6	11,5	9,5	12	11	9,5	10,5	12	93	-34,5	1190,25	12
4	8	8	4	3	5	7	6	6,5	10	58	1	1	6
5	8	8	8,5	9,5	10	11	9,5	10,5	8	83	-24,5	600,25	9
6	11	11	11,5	9,5	10	8,5	9,5	10,5	10	92	-33	1089	11
7	11	11	8,5	9,5	7,5	11	9,5	6,5	10	85	-26	676	10
8	5,5	4,5	5	3	6	5,5	3	6,5	5	44	14,5	210,25	4
9	5,5	11	6	6	7,5	2,5	5	6,5	5	55	3,5	12,25	5
10	1,5	2	2	3	2,5	2,5	3	2,5	1,5	21	38	1444	2
11	8	4,5	8,5	9,5	2,5	8,5	9,5	4	5	60	-1,5	2,25	7
12	3,5	8	8,5	9,5	10	2,5	9,5	10,5	5	67	-8,5	72,25	8
$\Sigma$	78	78	78	78	78	78	78	78	78			7822,5	

Заполнение таблицы происходит следующим образом:

Так как количество задач и экспертов не изменилось, необходимо заполнить субъектные оценки (ранги), определить факторы, которым выставлены наименьшие ранги, сумму чисел разделить на количество факторов по формуле 2. Полученные значения записать в таблицу нормированных рангов вместо выбранных. Вычислять последующие факторы до тех пор, пока не будет заполнена таблица значений.

$$\sum_{j=1}^n d_{ji} = \frac{n+1}{2} * n \quad (2)$$

Далее необходимо определить сумму рангов  $S_j$ , назначенных  $j$ -му фактору, по формуле 3, где  $m$  - число факторов. При этом предполагается, что чем меньше величина  $S_j$ , тем больше важность  $j$ -го фактора.

$$S_j = \sum_1^m d_{ji} \quad (3)$$

На следующем шаге определяется средний ранг совокупности факторов по формуле 4

$$S = \frac{12 \sum_{j=1}^n S_j}{n} \quad (4)$$
$$S = 58,8$$

Средний ранг позволяет найти отклонения  $B_j$  суммарных рангов  $S_j$  от среднего значения  $S$ , формула 5

$$B_j = S - S_j \quad (5)$$

Последним вычислением является нахождение коэффициента конкордации (согласованности мнения экспертов) по формуле 6

$$K = \frac{12 \sum_{j=1}^n B_j^2}{m^2(n^3-n)-m \sum_{i=1}^m T_i} \quad (6)$$
$$K=0,73$$

Максимальным значением коэффициента конкордации является 1 (все мнения экспертов максимально согласованы), а минимальным 0. Пороговым значением является 0,6: значение коэффициента конкордации выше этого значения предполагает, что эксперты достаточно единодушны в своих оценках и можно их мнение использовать как руководство к действию. При коэффициенте конкордации меньше 0,6 мнения экспертов существенно расходятся и требуется повторный тур опроса.

Поскольку,  $K = 0,73$ , что удовлетворяет среднему значению  $1 < K > 0,6$ , то дополнительный тур опроса можно не проводить, а значит, мнения экспертов сошлись.

Таким образом, подход «Дельфи» является одним из способов принятия сложных решений. Главный принцип дельфийского метода – это анонимность. Независимые эксперты и аналитики анализируют проблему, а затем принимают соответствующие решения. Основным преимуществом этого подхода является возможность посмотреть на ситуацию с разных сторон и точек зрения, учитывая все особенности и нюансы.

### Литература

1. Гуцыкова, С. В. Метод экспертных оценок. Теория и практика / С.В. Гуцыкова. - М.: Институт психологии РАН, 2012. - 144 с.
2. Драммонд, М. Методы оценки и измерений дискретных вычислительных систем / М. Драммонд. - М.: Мир, 2017. - 376 с.
3. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. - М.: Радио и связь, 2008. -184 с.
4. Сидельников Ю.В. Теория и организация экспертного прогнозирования. - М.: ИМЭМО АН СССР, 2009. - 196 с.