

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова»

«ВЫСТАВКА ИННОВАЦИЙ – 2020» (ВЕСЕННЯЯ СЕССИЯ)

Сборник материалов XXIX Республиканской выставки-сессии
студенческих инновационных проектов

(Ижевск, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 25 апреля 2020 г.)

и Форума научно-технического творчества молодежи

АО «ИЭМЗ «Купол» (Ижевск, ИЭМЗ «Купол», 18 марта 2020 г.)



Издательство ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова
Ижевск 2020

УДК 62(06)
ББК 30у
В93

Редакционная коллегия

Председатель: *Кузнецов А. Л.*, д-р экон. наук, проф., проректор по научной и инновационной деятельности ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Шляев С. А., д-р техн. наук, профессор кафедры «АМО», заведующий базовой кафедрой «Конструирование и технологии производства» при АО «ИЭМЗ «Купол»

Щенятский А. В., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Мехатронные системы»

Шишаков К. В., д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры «Радиотехника»

Дегтева О. А., начальник УНИР, заместитель председателя

Тюрин А. П., заместитель начальника УНИР

Гуменюк А. Н., начальник отдела инновационного развития

Султанов Р. О., начальник управления информатизации

Пигалев С. А., директор бизнес-инкубатора

Мурашов С. А., доцент кафедры «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики»

Волкова Л. В., доцент кафедры «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики»

Гордина А. Ф., доцент кафедры «Строительные материалы, механизация и геотехника»

Чернышев К. С., старший преподаватель кафедры «Программное обеспечение»

Романов А. В., доцент кафедры «Мехатронные системы»

Ответственный за выпуск *А. П. Тюрин*, заместитель начальника УНИР

В93 **«Выставка инноваций – 2020 (весенняя сессия)»** [Электронный ресурс] : сборник материалов ХХІХ Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов (Ижевск, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 25 апреля 2020 г.) и Форума научно-технического творчества молодежи АО «ИЭМЗ «Купол» (Ижевск, ИЭМЗ «Купол», 18 марта 2020 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2020. – 108 с. –5,89 МБ (PDF). Систем. требования: Acrobat Reader 5.8 и выше.

ISBN 978-5-7526-0884-1

Первый раздел сборника состоит из материалов докладов молодых ученых, заслушанных перед экспертной комиссией на ХХХІХ Научно-технической конференции молодежи, проходившей 18 марта 2020 г. на АО «ИЭМЗ «Купол», проведенный в рамках Форума научно-технического творчества молодежи АО «ИЭМЗ «Купол».

Второй раздел состоит из материалов докладов, раскрывающих содержание научных и инновационных проектов аспирантов, магистрантов, молодых ученых и студентов ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, выполненных в области приоритетных направлений развития науки и техники. Итоговое мероприятие проходило 25 апреля 2020 г. при помощи цифровых образовательных технологий. Экспертная оценка и рецензирование проектов выполнялись утвержденными экспертными комиссиями.

УДК 62(06)
ББК 30у

ISBN 978-5-7526-0884-1

© ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2020
© Оформление. Издательство ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова, 2020

Раздел 1
ФОРУМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА МОЛОДЕЖИ
АО «ИЭМЗ «КУПОЛ»

УДК 544

А. К. Габова, магистрант, anastasiya.gabov@mail.ru
Р. М. Закирова, канд. физ.-мат. наук, доцент
П. Н. Крылов, канд. физ.-мат. наук, доцент
И. В. Федотова, канд. физ.-мат. наук, доцент
Удмуртский государственный университет, Ижевск

**Влияние газовой среды и ионно-лучевой обработки
на структуру и свойства пленок оксида титана***

Методом магнетронного ВЧ-напыления мишени титана с газовой среде Ar + O₂ получены тонкие пленки диоксида титана. Напыление проводили при разной температуре конденсации. Также пленки диоксида титана напыляли с ионно-лучевой обработкой при температуре подложек 300 °С. В этом случае в процессе осаждения подложки поочередно проходили область распыления мишени и область воздействия ионного источника. Методом РФА определили фазовый состав пленок. По спектрам пропускания и отражения рассчитали показатель преломления, ширину запрещенной зоны и толщину пленок диоксида титана. Выявлено влияние температуры конденсации и ионно-лучевой обработки в процессе осаждения на фазовый состав пленок диоксида титана и их оптические свойства.

Ключевые слова: магнетронное ВЧ-напыление, пленки оксида титана, ионно-лучевая обработка, оптические свойства оксида титана.

Введение

Пленки оксида титана нашли широкое применение в качестве компонентов электронных устройств (УФ-фотоприемники, мемристоры, фотовольтаические ячейки, СВЧ-устройства, газовые сенсоры, прозрачные электроды, фотокатализаторы и др.) и в создании разного рода защитных покрытий [1].

Наиболее широко известны три полиморфные модификации диоксида титана в природе: анатаз, рутил и брукит [2]. TiO₂ является широкозонным полупроводником, ширина запрещенной зоны которого меняется от 3,02 до 3,23 эВ, в зависимости от кристаллической структуры и метода получения пленки. Показатель преломления у оксида титана меняется: у анатаза – от 2,2 до 2,5, у рутила – от 2,5 до 2,7 [3].

© Габова А. К., Закирова Р. М., Крылов П. Н., Федотова И. В., 2020

* Габова Анастасия Константиновна является призером студенческой секции XXXIX Научно-технической конференции молодежи; работа отмечена дипломом 2-й степени.

На основе оксида титана возможно создание фотокатализаторов для очистки воды и воздуха, так как согласно [4] на поверхности TiO_2 практически любые органические соединения могут быть окислены до CO_2 и H_2O . Вопросы очистки воздуха и воды, а также возможного применения диоксида титана в безртутных УФ-источниках рассматривались в [5]. Вопросам применения диоксида титана для фотокатализа, получения супергидрофобных и супергидрофильных материалов, формированию самоочищающихся покрытий, олеофобных материалов, а также вопросам получения покрытий с такими особыми свойствами, как антибактериальные, антикоррозионные, антизапотевающие, посвящены работы [6–8].

Для фотокатализа, сенсорики, солнечной энергетики, прозрачной электроники, самоочищающихся покрытий и т. д. требуются пленки с определенными свойствами. Так, например, кристаллическая модификация анатаза наиболее активно применяется в качестве фотокатализаторов [9, 10].

Целью данной работы являлось изучение влияния газовой среды, температуры осаждения и ионно-лучевой обработки, чередующейся с распылением, на свойства пленок оксида титана.

Методика эксперимента и основные результаты

Напыление пленок оксида титана проводили ВЧ магнетронным распылением мишени титана ВТ1 в среде аргона с кислородом на модернизированной установке УРМ [11]. В одно из смотровых окон камеры был установлен планарный магнетрон. В противоположном смотровом окне камеры размещали пучковый источник ионов «Радикал М-100». Напуск рабочей газовой смеси проводился через ионный источник. В качестве подложек использовали кварц, ситалл, стекло и сколы NaCl . Перед напылением подложки подвергались дополнительной ионно-лучевой обработке. Предельный вакуум в камере $1 \cdot 10^{-3}$ Па. В ходе работы камера откачивалась до $3 \cdot 10^{-1}$ Па.

Исследования по влиянию газовой среды на прозрачность пленок оксида титана показали, что оптимальным составом рабочей смеси для получения пленок оксида титана является газовая среда с процентным содержанием кислорода в газовой смеси 7 об.%. При большем процентном содержании O_2 скорость напыления сильно падала, а при меньшем – осажденные пленки были непрозрачными (рис. 1).

Далее осаждение пленок оксида титана проводили в газовой кислородно-аргоновой смеси, содержащей 7 об.% кислорода, при температурах 100, 150, 200, 250 и 300 °С.

С целью выявления влияния ионно-лучевой обработки на структуру и свойства пленок оксида титана были получены образцы при 300 °С и токе ионного источника 10...50 мА (шаг 10 мА). В этом случае в процессе осаждения подложки поочередно проходили область распыления мишени и область воздействия ионного источника.

Измерения толщины пленок оксида титана, которые выполнялись с использованием модифицированного микроинтерферометра МИИ-4, показали, что с увеличением температуры конденсации толщина пленок меняется незна-

чительно. Ионно-лучевая обработка приводит к уменьшению толщины пленок оксида титана с ростом тока ионного источника, что может быть связано с тем, что при данных режимах происходит стравливание пленки оксида титана.

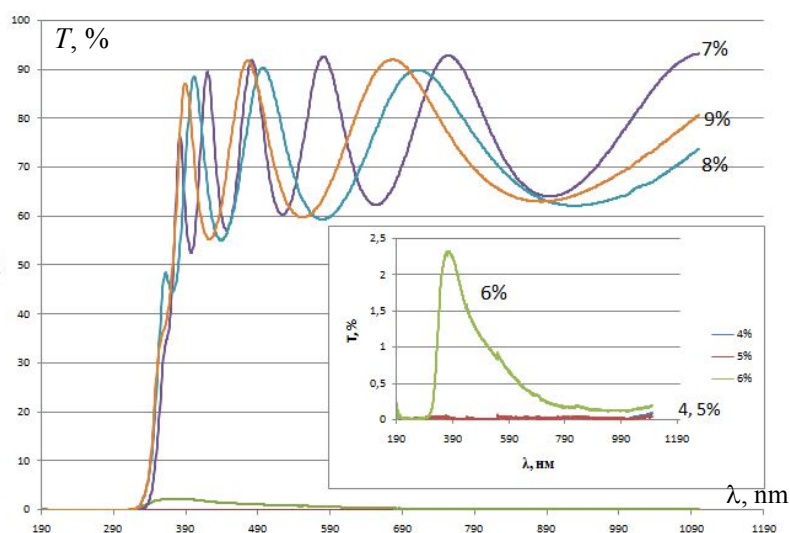


Рис. 1. Спектры пропускания пленок оксида титана, полученных при разном процентном содержании кислорода. На вставке приведены образцы, полученные при 4, 5 и 6 об.% O_2

Морфологию пленок смотрели на просвечивающем электронном микроскопе ЭМ-125К. Микроизображения показали, что пленки оксида титана сплошные, однородные и зернистые. Анализ микроизображений методом секущих показал, что температура и ионно-лучевая обработка на размеры зерен заметного влияния не оказывает.

Фазовый состав полученных пленок оксида титана изучался методом рентгеновской дифракции. Рентгено-дифракционные исследования пленок оксида титана проводились на рентгеновском дифрактометре «ДРОН-3.0» в $Fe-K_{\alpha}$ -излучении. Фазовый анализ показал, что синтезированные пленки оксида титана являются поликристаллическими и содержат две модификации диоксида титана – анатаз (JCPDS № 21-1272) и рутил (JCPDS № 21-1276).

При температуре конденсации 100 и 150 °С пленки представлены фазой рутила. С увеличением температуры осаждения от 200 до 300 °С появляется и увеличивается количество фазы анатаза (рис. 2, а).

Пленки оксида титана, полученные с ионно-лучевой обработкой, при токе 10...20 мА имеют модификацию анатаза; для фазы рутила наблюдается слабое дифракционное отражение с межплоскостным расстоянием 3,25 Å. При увеличении тока до 30...50 мА интенсивность дифракционных отражений, принадлежащих анатазу, уменьшается (рис. 2, б). Ионно-лучевая обработка приводит к уширению дифракционных линий анатаза и снижению их интенсивности.

Отношение интенсивностей $I_{A(101)}/I_{R(110)}$ качественно свидетельствует о влиянии температуры и тока ионно-лучевой обработки на относительное количество анатаза к рутилу (рис. 3).

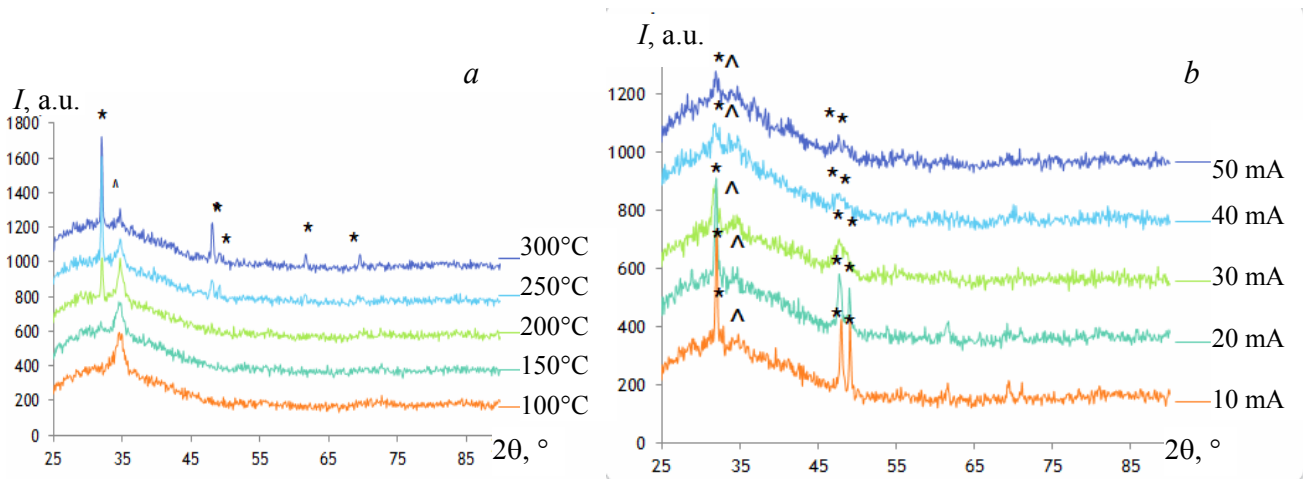


Рис. 2. Дифрактограммы пленок TiO_2 , полученных при разной температуре (a); при разной ионно-лучевой обработке (b) (* – анатаз, ^ – рутил)

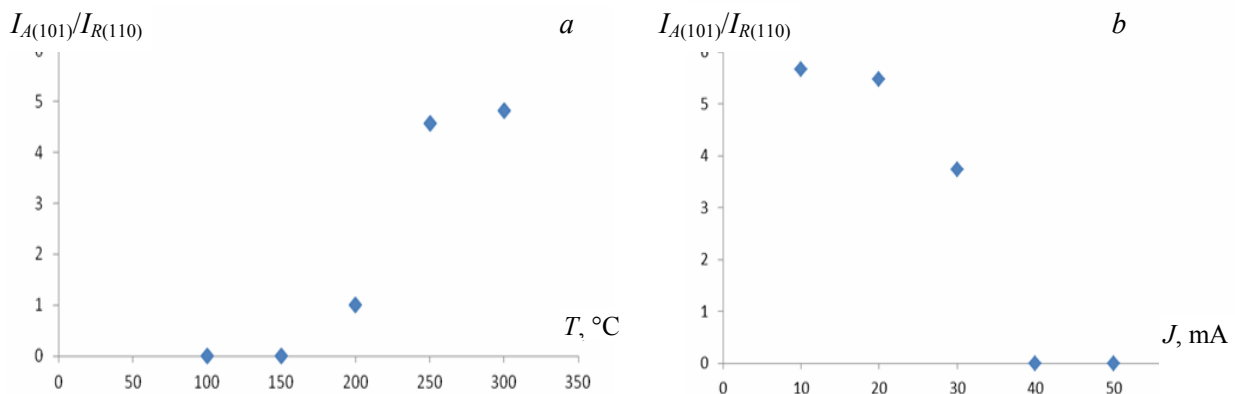


Рис. 3. Отношение интенсивностей $I_{A(101)}/I_{R(110)}$ пленок оксида титана, синтезированных при разных температурах (a); при разной ионно-лучевой обработке (b)

Используя метода Ритвельда (ПО «Метод Ритфельда», НПО «Буревестник») проведен количественный анализ полученных пленок диоксида титана, который показал аналогичные количественные изменения отношения фаз анатаза к рутилу. С увеличением температуры конденсации подложки возрастает процентное содержание анатаза, а рутила – уменьшается. При увеличении тока ионно-лучевой обработки, начиная с 30 мА, процентное отношение анатаза к рутилу резко уменьшается.

Наиболее стабильной модификацией TiO_2 является рутил. Анатаз нестабилен. Известно, что диоксид титана обладает полиморфизмом, а температура перехода анатаза в рутил составляет $\approx 915 \dots 950 \text{ } ^\circ\text{C}$ [12]. В [13] показано формирование рутила при $220 \text{ } ^\circ\text{C}$ (493 К) и сделано предположение, что вероятная причина формирования рутила при такой температуре ($220 \text{ } ^\circ\text{C}$) объясняется резко неравновесными условиями.

Оптические свойства пленок оксида титана исследовались на спектрофотометре СФ-56. Методом обработки осциллирующих спектров пропускания

и отражения, которые были сняты в интервале длин волн 190...1100 нм, рассчитывалась толщина полученных пленок, и определялся показатель преломления. Ширину запрещенной зоны находили по краю собственного поглощения [14].

На рис. 4 представлены спектры пропускания пленок оксида титана, осажденных при разной температуре и разном значении тока ионно-лучевого источника. Спектрофотометрический анализ показал, что полученные пленки TiO_2 прозрачны в области 400...1100 нм, коэффициент пропускания составляет в среднем $\approx 75...80\%$.

В области пропускания (400...1100 нм) наблюдается интерференционная картина, что указывает на равномерность пленок по толщине [15].

Расчет оптических характеристик синтезированных пленок оксида титана позволил определить показатель преломления и ширину запрещенной зоны пленок оксида титана, уточнить их толщину. Результаты расчетов представлены в таблице.

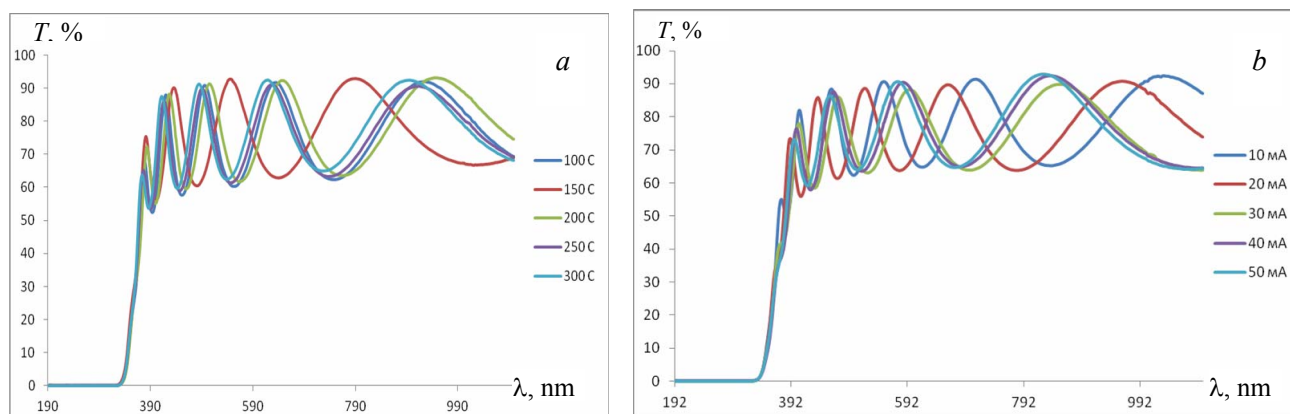


Рис. 4. Спектры пропускания пленок оксида титана, полученных при разной температуре осаждения (а); при разной ионно-лучевой обработке (б)

Показатель преломления n , ширина запрещенной зоны E_g , толщина пленок d , рассчитанные из спектров пропускания и отражения пленок TiO_2 , в зависимости от температуры конденсации и от тока ионного источника

Температура конденсации				Ионно-лучевая обработка			
$T_{\text{конденс.}}, ^\circ\text{C}$	n	$E_g, \text{эВ}$	$d, \text{нм}$	$J, \text{мА}$	n	$E_g, \text{эВ}$	$d, \text{нм}$
100	2,37	3,38	385	10	2,32	3,39	450
150	2,36	3,39	330	20	2,36	3,36	410
200	2,38	3,38	395	30	2,37	3,35	360
250	2,37	3,39	380	40	2,35	3,31	355
300	2,38	3,40	375	50	2,34	3,35	350

Полученные значения показателя преломления n и ширины запрещенной зоны E_g согласуются с литературными данными [16, 17]. В работе [18] уменьшение показателя преломления до 2,5 обуславливает увеличение количества анатаза и включение аморфной структуры. Если $n < 2,5$, – описывается наличием аморфной фазы. То есть можно предположить, что в полученных пленках присутствует еще и аморфная фаза оксида титана.

Из таблицы видно, что на показатель преломления и ширину запрещенной зоны пленок оксида титана большее влияние оказывает ионно-лучевая обработка.

Смачиваемость пленок оксида титана определяли по ГОСТ 7934.2–74. Для определения угла смачиваемости использовали фильтрованную водопроводную воду, пипетку и фотоаппарат. В качестве образца сравнения использовали чистое микроскопическое стекло, используемое в качестве подложки.

При исследовании угла смачивания было выявлено, что все пленки диоксида титана имеют одинаковый угол смачиваемости $\approx 69^\circ$. Угол смачиваемости стекла составил $16,8^\circ$. То есть синтезированные пленки диоксида титана являются более гидрофобными по сравнению с чистым стеклом, и такие покрытия можно использовать для незапотевающих стекол, самоочищающихся окон.

Для оценки фотокаталитической активности частиц диоксида титана использовался метод фотодеградации красителя [12, 19]. Исследования проводились с помощью спектрофотометров СФ-56 и СФ-26. Для изучения фотокаталитических свойств пленок оксида титана использовался водный раствор органического красителя метиленовый синий (МС) с концентрацией 0,186 мг/мл.

Наибольшую фотокаталитическую активность показал образец, синтезированный при температуре конденсации 300°C . Данный образец содержит наибольшее количество анатаза. В работах [12] отмечают, что анатаз является более фотокаталитически активным. Усиление фотокаталитической активности вызвано более высоким расположением уровня Ферми у анатаза по сравнению с рутилом (на 0,1 эВ), хотя в работе [20] показано, что в случае МС фазовый состав TiO_2 мало влияет на фотодеградацию.

Пленка диоксида титана, полученная при ионно-лучевой обработке 10 мА, показала немного большую фотокаталитическую активность, по сравнению с пленками, полученными при ионно-лучевой обработке 30 и 50 мА. Данный образец также содержит наибольшее количество анатаза.

Заключение

Реактивным ВЧ магнетронным распылением получены тонкие пленки оксида титана. При выбранном процентном содержании кислорода (7 об.%) в газовой среде получены пленки при разной температуре осаждения ($100\dots 300^\circ\text{C}$, шаг 50°C), а при температуре конденсации 300°C пленки оксида титана получены распылением, чередующимся с ионно-лучевой обработкой.

Пленки оксида титана являются сплошными, однородными и зернистыми. Рентгенофазовый анализ выявил наличие в пленках оксида титана две модификации TiO_2 – анатаз и рутил. Увеличение температуре конденсации приводит к появлению и увеличению количества фазы анатаза. Увеличение тока ионно-лучевой обработки приводит к увеличению доли фазы рутила и уменьшению доли фазы анатаза.

Значения ширины запрещенной зоны и показателя преломления согласуются с литературными данными.

Полученные пленки оксида титана имеют угол смачиваемости $\approx 69^\circ$, проявляют фотокаталитическую активность. Наибольшую фотокаталитическую активность показали пленки, содержащие наибольшее количество анатаза.

Список литературы

1. Механизм проводимости пленок оксида титана и структур металл – TiO₂ – Si / В. М. Калыгина, И. М. Егорова, И. А. Прудаев, О. П. Толбанов // ФТП. 2016. Т. 50, вып. 8. С. 1036–1040.
2. Gupta S.M., Tripathi M. A review of TiO₂ nanoparticles // Chin. Sci. Bull, 2011, vol. 56, no. 16, pp. 1639-1657.
3. Jellison G., Boatner L., Budai J., Jeong B.-S., Norton D. Spectroscopic ellipsometry of thin film and bulk anatase (TiO₂). J. Appl. Phys, 2003, vol. 93, no. 12, pp. 9537-9541.
4. Пармон В. Н. Фотокатализ: Вопросы терминологии // Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии. Новосибирск : Наука, 1991. С. 7–17.
5. Ochiai T., Fujishima A. Photoelectrochemical properties of TiO₂ photocatalyst and its applications for environmental purification. J. Photochem. Photobiol. C., 2012, vol. 13, no. 4, pp. 247-262.
6. Fujishima A., Rao T.N., Tryk D.A. Titanium dioxide photocatalysis. J. Photochem. Photobiol. C., 2000, vol. 1, no. 1, pp. 1-21.
7. Fujishima A., Zhang X. Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. C. R. Chim, 2006, vol. 9, no. 5-6, pp. 750-760.
8. Nakata K., Fujishima A. TiO₂ photocatalysis: Design and applications. J. Photochem. Photobiol. C., 2012, vol. 13, no. 3, pp. 169-189.
9. Schneider J., Matsuoka M., Takeuchi M., Zhang J., Horiuchi Y., Anpo M., Bahnemann D.W. Understanding TiO₂ Photocatalysis: Mechanisms and Materials. Chemical Reviews, 2014, vol. 114, pp. 9919-9986.
10. Ahmed A.Y., Kandiel T.A., Oekermann T. Photocatalytic activities of different well-defined crystal TiO₂ surfaces: anatase versus rutile. J. of Physical Chemistry Letters, 2011, vol. 2, ppP. 2461-2465.
11. Высоковакуумная установка для нанесения и ионно-лучевой обработки прозрачных проводящих пленок / В. М. Ветошкин, Р. М. Закирова, П. Н. Крылов, И. А. Суворов // ВТТ. 2011. Т. 21, № 1. С. 57–59.
12. Тихонов, В. А. Исследование фотокаталитической активности высокодисперсного диоксида титана / В. А. Тихонов, С. В. Лановецкий, В. Э. Ткачева // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 9. С. 148–150.
13. Фазовые превращения в тонких пленках оксида титана в процессе химического синтеза при резко неравновесных условиях / А. П. Беляев, А. А. Малыгин, В. В. Антипов, В. П. Рубец // ФТТ. 2009. Т. 51, вып. 3. С. 465–467.
14. Венгер, Е. Ф. Фотостимулированные процессы в халькогенидных стеклообразных полупроводниках и их практическое применение / Е. Ф. Венгер, А. В. Мельчук, А. В. Стронский. Киев : Академперіодика, 2007. 242 с.
15. Герасименко, Ю. В. Синтез и свойства тонких пленок диоксида титана / Ю. В. Герасименко, В. А. Логачёва, А. М. Ховив // Конденсированные среды и межфазные границы. 2010. Т. 12, № 2. С. 113–118.
16. Кравцов, А. А. Разработка процессов получения и исследование физико-химических свойств наноматериалов для электронной техники на основе оксидов титана и церия : дис. ... канд. техн. наук. Ставрополь. 2016.
17. Landmann M., Rauls E., Schmidt W.G. The electronic structure and optical response of rutile, anatase and brookite TiO₂. J. Phys.: Condens. Matter., 2012, vol. 24, no. 19, pp. 195-503.
18. Сиделёв, Д. В. Исследование фазового состава тонких плёнок диоксида титана, полученных среднечастотным дуальным магнетронным распылением / Д. В. Сиделёв, Ю. С. Подаруева // Перспективы развития фундаментальных наук. 2012. С. 215–217.
19. Синтез и исследование фотокаталитических свойств материалов на основе TiO₂ / А. Ю. Степанов, Л. В. Сотникова, А. А. Владимиров, Д. В. Дягилев, Т. А. Ларичев, В. М. Пугачев, Ф. В. Титов // Вестник КемГУ. 2013. № 2-1 (54). С. 249–255.
20. Влияние фазового состава диоксида титана на фотокатаклитическую деградацию органических красителей / С. О. Черкасова, В. В. Шаповалов, И. П. Дмитренко, А. П. Будник Инженерный вестник Дона. 2017. № 2 (45). С. 12.

В. С. Егоров, бакалавр, skillet2828@mail.ru
Р. Р. Хасанов, аспирант, beif@mail.ru
М. В. Сяктерев, магистр, maks.syakterev@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Модель искусственного отражателя для настройки дефектоскопа, реализующего волноводный метод контроля *

Рассмотрена математическая модель распространения стержневой волны в объекте контроля. Оценены волноводные эффекты при распространении акустического импульса по длинномерному объекту с протяженным дефектом. Получены зависимости коэффициента прозрачности и коэффициента отражения для объекта контроля при разных размерах искусственного отражателя (длина и высота). Представлена математически рассчитанная зависимость отношений амплитуд сигнала от искусственного отражателя и противоположного торца объекта контроля.

Ключевые слова: композитная арматура, волноводный метод, акустический контроль, коэффициент отражения, коэффициент прозрачности, линейно-протяженные объекты.

Введение

Композитная арматура – это появившийся относительно недавно материал, призванный заменить традиционные металлические аналоги в вопросах армирования бетонных сооружений. Арматура состоит из стеклянных или базальтовых волокон с добавлением специального связующего, чаще всего эпоксидной смолы (ГОСТ 31938–2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия»). Композитная арматура по многим аспектам превосходит стальную, что позволяет ей стремительными темпами занимать строительный рынок. В связи с этим специалисты по неразрушающему контролю разрабатывают новые методики проверки качества и соответствия техническим нормам. Этот процесс осложняется тем, что не все классические ультразвуковые методы контроля подходят для композитных материалов в связи с особенностями их строения. По этой причине важной частью для внедрения акустической дефектоскопии в процесс контроля композитной арматуры является процесс наращивания базы знаний в этой области. Целью данной работы является разработка модели искусственного отражателя для настройки дефектоскопа. Так как композитная арматура является линейно протяженным объектом, в котором длина волны многократно превышает его поперечные размеры, то для контроля используется волноводный метод [1–4]. На основе этого метода разработана математическая модель распространения стержневой волны Похгаммера в заданном объекте контроля.

© Егоров В. С., Хасанов Р.Р., Сяктерев М. В., 2020

* Егоров Владислав Сергеевич является призером студенческой секции XXXIX научно-технической конференции молодежи, работа отмечена дипломом I степени.

Используемый подход

Для построения модели было использовано специализированное программное обеспечение для математических и инженерных вычислений MathCAD. Объект контроля представляет собой линейно протяженный объект с круглым сечением, на поверхность которого нанесен искусственный дефект, где h – высота дефекта, D – диаметр поперечного сечения объекта контроля (рис. 1).

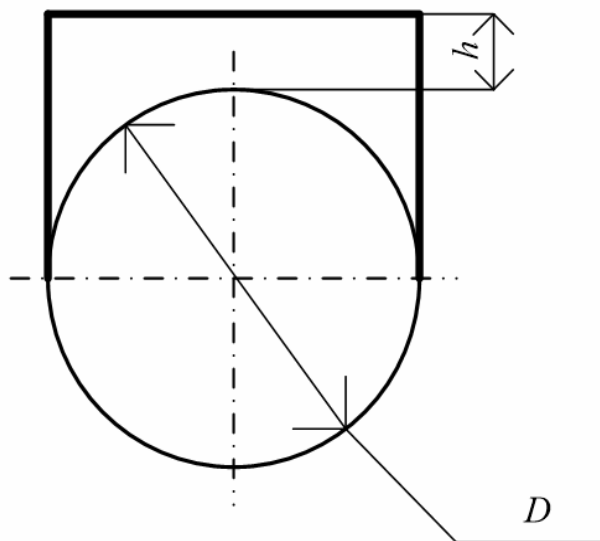


Рис. 1. Поперечное сечение объекта контроля с искусственным дефектом

Отражатель по составу приближен к составу объекта контроля. Перед началом процесса разработки математической модели были получены основные геометрические параметры объекта контроля и искусственного дефекта, представленные в таблице.

Основные геометрические и физико-технические параметры модели объекта контроля

Параметр	Численное значение	Шаг
Высота дефекта, мм	0...2	0,01
Протяженность дефекта, мм	0...100	1
Радиус объекта контроля, мм	6...15	1

Так как волноводный метод контроля является низкочастотным методом [5], рабочая частота 25 кГц. При этом, скорость распространения стержневой моды в объекте контроля составила 5130 м/с.

В ходе распространения акустического импульса по волноводу наблюдается потеря энергии волны, обусловленная ее отражением от дефекта и неоднородностями непосредственно в объекте контроля [6]. Расчет акустических свойств в объекте контроля производился с помощью формул Релея, которые после соответствующих преобразований принимают следующий вид [7]:

– коэффициент отражения от искусственного дефекта

$$R(\omega) = \frac{(S^2 - S_2^2) \cdot \sin\left(\frac{\omega h}{C}\right)}{\sqrt{4 \cdot S^2 \cdot S_2^2 + (S^2 - S_2^2) \cdot \sin^2\left(\frac{\omega L}{C}\right)}}, \quad (1)$$

где S – площадь поперечного сечения объекта контроля; ω – циклическая частота; L – протяженность искусственного дефекта; S_2 – площадь поперечного сечения прутка; $S_2 = S - S_d$, S_d – площадь поперечного сечения дефекта; C – скорость распространения волны в объекте контроля; h – высота дефекта;
– коэффициент прозрачности

$$D(\omega) = \quad (2)$$

Для получения теоретически рассчитанного импульса от дальнего торца объекта контроля и дефекта были использованы спектры соответствующих сигналов [8–12]. Спектр сигнала от дефекта был получен из произведения спектральной плотности зондирующего импульса на коэффициент отражения от дефекта:

$$S_d(\omega) = S_3(\omega) \cdot R(\omega). \quad (3)$$

Спектр от дна был вычислен как произведение спектральной плотности зондирующего импульса на квадрат коэффициента прохождения в связи с тем, что акустическая волна на пути к торцу проходит через область с дефектом и, отразившись, преодолевает тот же путь повторно:

$$S_{\text{дна}}(\omega) = S_3(\omega) \cdot D(\omega) \cdot D(\omega). \quad (4)$$

Искомые импульсы получены после восстановления сигналов с помощью обратного преобразования Фурье [13].

Результаты и их обсуждение

После использования приведенных ранее алгоритмов были получены частотные характеристики коэффициентов отражения R и прохождения D (рис. 2)

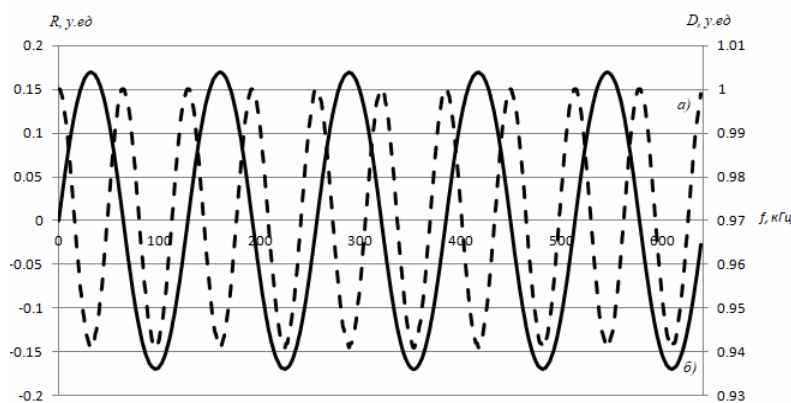


Рис. 2. Частотная характеристика коэффициента прозрачности (а) и отражения при диаметре объекта контроля 8 мм, высоте дефекта 1 мм и протяженности дефекта 40 мм (б)

На основе полученного поведения коэффициентов отражения и прохождения вычислены предполагаемые акустические сигналы от отражателя и дальнего торца объекта контроля для каждого геометрического размера дефекта. На рис. 3 приведены полученные импульсы.

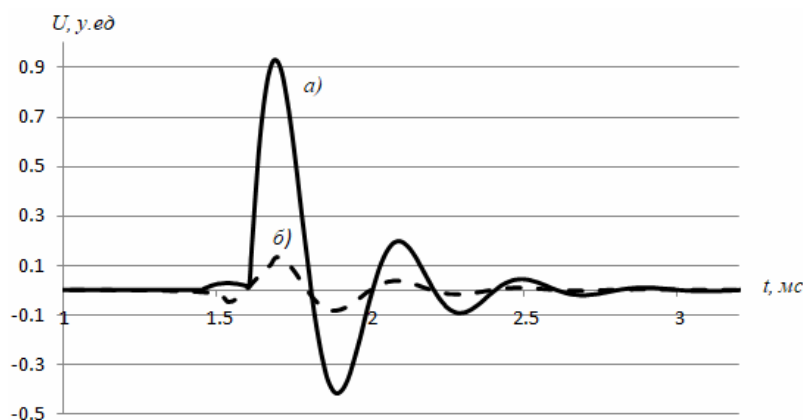


Рис. 3. Амплитуда сигнала при диаметре объекта контроля 8 мм, высоте дефекта 1 мм и протяженности дефекта 40 мм от донной поверхности (а) и от дефекта (б)

В результате с использованием рассчитанных импульсов получена процентная зависимость отношения амплитуд (коэффициент величины амплитуды) сигнала от дефекта и первого донного в зависимости от изменения линейной протяженности дефекта (рис. 4).

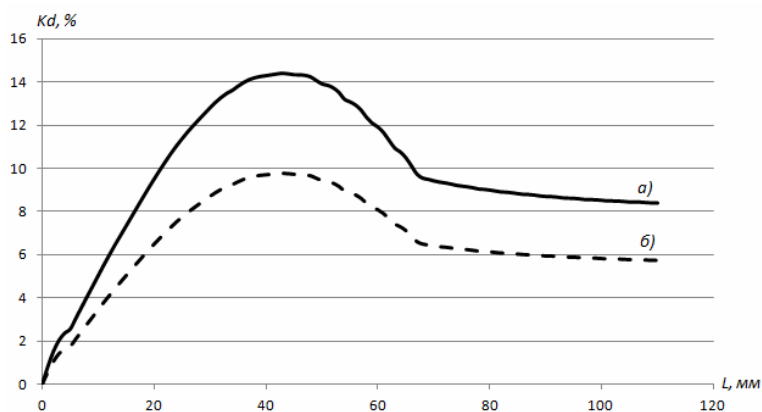


Рис. 4. Коэффициент величины амплитуды K_d в зависимости от длины дефекта 1 мм (а) и 0,5 мм (б)

Исходя из графика можно сделать вывод о поведении коэффициента величины амплитуды в зависимости от протяженности дефекта, который плавно возрастает до максимального значения и начинает монотонно убывать. В точке максимума функции наблюдается наибольшая амплитуда сигнала от дефекта, что позволяет спроектировать надстроечный образец для калибровки дефектоскопа протяженных объектов таким образом, чтоб получить максимально достоверные данные.

Выводы

Таким образом, по результатам разработки модели искусственного отражателя для прутка композитной арматуры можно сделать вывод, что с помощью полученных расчетов можно подобрать такие геометрические размеры искусственного отражателя, которые позволят наиболее точно настроить дефектоскоп для последующего контроля и получить более достоверные данные о наличии различных дефектов в объекте контроля. Также можно сказать, что амплитуда сигнала от дефекта зависит непосредственно от протяженности самого дефекта. Таким образом, с помощью полученных расчетов можно подобрать такие геометрические размеры искусственного отражателя, которые позволят настроить дефектоскоп на отбраковку дефектных образцов по выбранному уровню сигнала от дефекта.

Список литературы

1. Эффективность использования стержневых и крутильных волн для контроля пруткового проката / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая, Д. В. Злобин, Т. Н. Лебедева // Дефектоскопия. 2004. № 3. С. 3–8.
2. Анализ сравнительной достоверности акустических методов контроля пруткового проката из рессорно-пружинных сталей / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, Е. Н. Фокеева // Дефектоскопия. 2014. № 8. С. 43–51.
3. Эффективность использования стержневых и крутильных волн для контроля пруткового проката / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая, Д. В. Злобин, Т. Н. Лебедева // Дефектоскопия. 2004. № 3. С. 3–8.
4. Акустическая дефектоскопия прутков с использованием многократных отражений / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая, Б. А. Буденков, Т. Н. Лебедева, Д. В. Злобин // Дефектоскопия. 2004. № 8. С. 50–55.
5. Взаимодействие крутильных волн с продольными трещинами труб / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая, Д. В. Злобин, С. А. Мурашов // Дефектоскопия. 2006. № 6. С. 58–66.
6. Технология акустического волноводного контроля насосно-компрессорных труб / О. В. Муравьева, В. А. Стрижак, Д. В. Злобин, С. А. Мурашов, А. В. Пряхин // В мире неразрушающего контроля. 2014. № 4. С. 51–56.
7. Акустический волноводный контроль элементов глубиннонасосного оборудования / О. В. Муравьева, В. А. Стрижак, Д. В. Злобин, С. А. Мурашов, А. В. Пряхин, Ю. В. Мышкин // Нефтяное хозяйство. 2016. № 9. С. 110–115.
8. *Муравьева, О. В.* Влияние регулярных перепадов сечения на контролепригодность прутка при контроле акустическим волноводным методом / О. В., Муравьева В. А. Стрижак, А. В. Пряхин // Дефектоскопия. 2014. № 4. С. 41–49.
9. Опыт приемочного акустического контроля и упрочнения насосных штанг при сервисном обслуживании / Г. А. Буденков, О. В. Коробейникова, Н. А. Кокорин, В. А. Стрижак // В мире неразрушающего контроля. 2007. № 4. С. 14–19.
10. *Буденков, Г. А.* Основные закономерности взаимодействия волн Похгаммера с дефектами / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая // Дефектоскопия. 2004. № 2. С. 33–46.
11. *Муравьева, О. В.* Акустический тракт метода многократных отражений при дефектоскопии линейно-протяженных объектов / О. В. Муравьева, Д. В. Злобин // Дефектоскопия. 2013. № 2. С. 43–51.
12. Дефектоскопия композитной арматуры акустическим волноводным методом / В. А. Стрижак, А. В. Пряхин, Р. Р. Хасанов, С. С. Мкртчян // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 1. С. 78–88.
13. Акустический волноводный контроль линейно-протяженных объектов / О. В. Муравьева, В. В. Муравьев, В. А. Стрижак, С. А. Мурашов, А. В. Пряхин; Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2017. 234 с. ISBN 978-5-7692-1560-5.

Н. Ю. Елькин, студент, enricocarvalio@mail.ru
П. А. Шихарев, студент, pashaplay@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Обследование участка под строительство здания магнитометрической лаборатории для регулировки и настройки высокочувствительной магнитометрической аппаратуры

Рассматривается методика подготовки участка под строительство инклинометрической лаборатории по фактору однородности магнитного поля Земли (МПЗ). Теоретически и экспериментально показано влияние различных строительных ферромагнитных элементов на неоднородность МПЗ. Приведены необходимые рекомендации по подготовке к строительству сооружений, требующих магниточувствительных комфортных условий.

Ключевые слова: магнитное поле Земли, инклинометрия, магниточувствительность, подготовка участка, однородность.

В настоящей работе была поставлена задача обследовать участок под строительство инклинометрической лаборатории по фактору однородности геомагнитного поля. Данный фактор не допускает нарушение однородности геомагнитного поля. Участки выделяют не всегда в пространстве, где отсутствуют большие ферромагнитные массы. В данном случае участок был выделен на территории поселка Смирново (фирма «Геофизика») площадью 70×70 м, обнесенный железобетонным забором, территория которого была захлавлена большим количеством объектов строительного мусора. К таким объектам относятся чугунные отливки, костыли, ж/б плиты и т.п.

Инклинометрическая лаборатория служит для проведения калибровки и настройки магниточувствительной аппаратуры. Согласно техническому заданию место размещения здания выбирается в квадрате со стороной 65 м, ± 7 мкТл. Во внутреннем пространстве помещения на площади 25 м^2 и в объеме $62,5 \text{ м}^3$ должна быть обеспечена однородность магнитного поля Земли 50 ± 5 мкТл [1]. Для обеспечения данных требований необходимо провести мониторинг однородности магнитного поля Земли на всех этапах строительства, начиная с расчистки территории, закладки фундамента и до сдачи объекта с использованием высокочувствительной магнитометрической аппаратуры.

Для проведения мониторинга применялся поверенный трехкомпонентный магнитометр МТМ-01, а также поверенный градиентометр, разработанный кафедрой «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики». ИжГТУ имени М. Т. Калашникова.

Методика исследования при использовании вышеназванных приборов заключается в следующем:

- исследуемая площадь размечается по сетке 2...5 м на высоте 1...1,5 м от земли;
- на расстоянии 20 м от участка под строительство здания в удаленной контрольной точке производятся измерения магнитной индукции ГМП B_0 ;
- в каждой точке сетки производится измерений магнитной индукции ГМП B_0 ;
- полученные данные в точках сетки приводятся к данным в контрольной точке;
- производится сравнение полученных относительных значений с допустимым значением, составляющим $\pm 10\%$;
- принимается решение о возможности использования выбранной площадки для строительства участка инклинометрии.

В ходе мониторинга участка под строительство было выявлено множество предметов, искажающих магнитное поле Земли и нарушающих его однородность [2]. Одним из таких примеров является чугунная отливка (см. рис.), геометрические размеры которой составляют $20 \times 15 \times 10$ см (Д \times Ш \times В). Такой источник магнитного поля создает искажения магнитного поля Земли в радиусе 1 м. Экспериментально было выяснено: на высоте 1 м от чугунной отливки, значение магнитной индукции составляет 60 мкТл, что не удовлетворяет техническому заданию. Данный объект было необходимо удалить с места строительства лаборатории.



Таким образом, было проведено измерение магнитной индукции и градиента магнитного поля Земли на участке под строительство инклинометрической лаборатории. Выявлено несколько источников магнитных полей, создающих недопустимую магнитную однородность [3]. После удаления таких источников со строительного участка были достигнуты значения 50 ± 7 мкТл, удовлетворяющие условиям технического задания.

Список литературы

1. Гичев, Ю. П. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека : аналит. обзор / Ю. П. Гичев, Ю. Ю. Гичев. Новосибирск, 1999. 90 с.
2. Погода в доме / Ю. Г. Рябов, Г. Н. Яковлев, Г. В. Ломаев, А. А. Яшин, С. Э. Билецкий // Охрана труда и социальное страхование. 2014. № 4. С. 60–70.
3. Рябов, Ю. Г. Системный подход к оценке и обеспечению условий проживания и пребывания в помещениях зданий и на рабочих местах по фактору геомагнитного поля / Ю. Г. Рябов, Г. В. Ломаев, А. А. Репин // Технологии ЭМС. 2019. № 1. С. 52–60.

Т. И. Земсков, аспирант, tim.zemskov@mail.ru
В. Ф. Нуриев, магистрант, mr.nurief@gmail.com, *Мохов И.*, магистрант
А. А. Морозов, бакалавр, pmkk@istu.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Разработка генератора зондирующих импульсов для измерения скорости ультразвука

Приведены результаты по определению наиболее эффективного ключевого элемента в схеме возбуждения ультразвукового (УЗ) импульса в составе прибора для измерения скорости акустической волны.

Ключевые слова: ультразвук, транзистор, прибор для измерения скорости распространения акустических волн.

Введение

Скорость распространения УЗ-колебаний в твердых телах является важной характеристикой, и ее точное измерение позволяет решать ряд технических и научных задач: оценивать свойства материала (например, его упругие модули), производить оценку химического состава (скорость распространения УЗ-импульса в разных марках стали или алюминия может отличаться на величину порядка 100 м/с), определять наличие внутренних напряжений (через значения акустоупругих коэффициентов) [1]. Кроме того, при известной скорости в материале с помощью измерения времени пробега УЗ-волны возможна прецизионная толщинометрия изделия.

Описание установки и принципа действия

Для проведения исследований в данной области необходимо оборудование, способное эффективно возбуждать УЗ-импульсы с использованием преобразователей различных типов и частотных диапазонов, принимать прошедшие через объект импульсы при максимально точном сохранении их формы, а также измерять время прихода УЗ-импульса с точностью порядка 10...20. Согласно приведенным требованиям была разработана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

Основой прибора является микроконтроллер (МК) [2], задачей которого является формирование необходимых управляющих сигналов. Кроме МК в состав установки входят: повышающий преобразователь (L1, VD1, VT1), усилительный тракт (DA2, VT3), цепи ограничения входа от перегрузок и частотного согласования (VD2, VD3, L2), каскад, формирующий сигнал стандартного логического уровня в момент прихода эхоимпульса (VT4, VD4, R14), пиковый детектор, позволяющий оценивать текущую амплитуду сигнала для управления алгоритмом АРУ (VD5, VT5, VT6, C7, R12, R13).

Цикл проведения измерения состоит из следующих этапов.

1. Заряд емкости преобразователя (или накопительной емкости в случае использования преобразователя с нулевой собственной емкостью) напряжением порядка 150 В.
2. Формирование зондирующего импульса (ЗИ). При этом управляющий сигнал от МК поступает на затвор ключевого транзистора, который шунтирует накопительную емкость на землю.
3. Запуск счетчика, входящего в состав МК.
4. Фиксация момента прихода эхоимпульса, остановка счетчика.
5. Проведение измерения по п. 1–4 несколько раз для повышения точности измерения, вывод на экран усредненного значения времени пробега импульса.

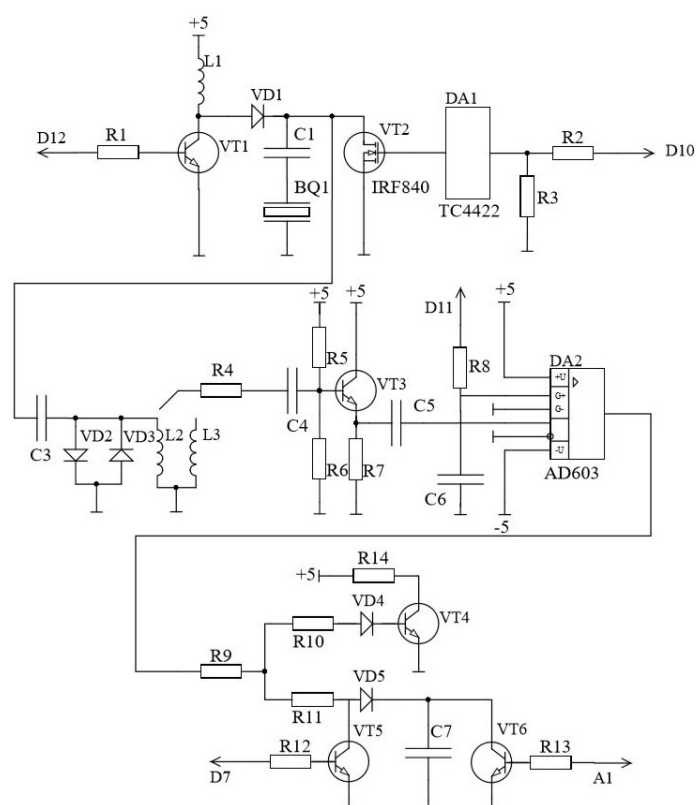


Рис. 1. Схема прибора для измерения скорости распространения акустической волны

Кроме того, МК формирует сигнал, управляющий коэффициентом усиления тракта (ШИМ-последовательность, преобразуется интегрирующей цепочкой в управляющее постоянное напряжение), реализует алгоритм автоматической регулировки усиления (АРУ) для повышения стабильности амплитуды принятого импульса, реализует опрос элементов управления на передней панели прибора и осуществляет вывод результатов измерения на ЖК-индикатор.

Одним из основных вопросов, решаемых в процессе разработки прибора, был выбор типа ключевого элемента. Для сравнительной оценки эффективности различных типов транзисторов был собран измерительный стенд, схема которого приведена на рис. 2.

На вход схемы генератором G1 подавался импульс логического уровня 5 В, потенциометром R1 осуществлялось изменение напряжения питания драйвера DA2 в пределах 5...12 В. Включение последовательно с его выходом резистора 250 Ом позволило имитировать возбуждение затвора (или базы) исследуемого транзистора как с выхода контроллера через защитное сопротивление, так и от низкоимпедансного источника (драйвера).

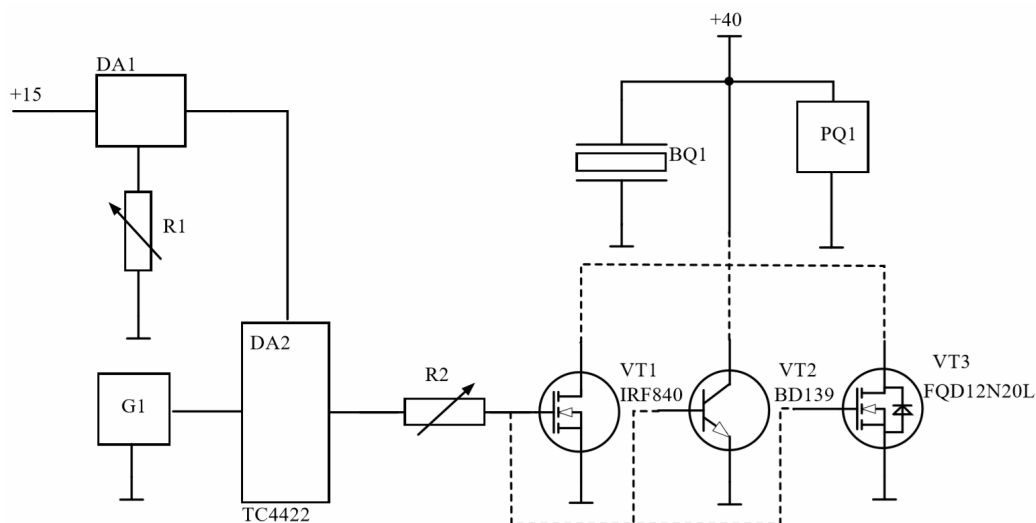


Рис. 2. Схема стенда для оценки эффективности исследуемых типов транзисторов

Для различных типов транзисторов осциллографом измерялась амплитуда формируемого ими УЗ-импульса (использовались стационарные пьезопреобразователи в совмещенном режиме на частотах 5 и 10 МГц). Результаты измерения приведены в таблице.

Амплитуда УЗ-импульса при возбуждении различными типами транзисторов

Частота пьезопреобразователя	FQD12N20L		IRF830		BD139	
	R = 0	R = 250 Ом	R = 0	R = 250 Ом	R = 0	R = 250 Ом
5 МГц	120 мВ	30 мВ	500 мВ	250 мВ	480 мВ	350 мВ
10 МГц	25 мВ	8 мВ	50 мВ	22 мВ	55 мВ	30 мВ

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Транзистор FQD12N20L с логическим уровнем включения обладает наименьшей эффективностью, однако позволяет осуществлять формирование ЗИ по наиболее простой схеме – непосредственно с выхода МК через защитное сопротивление во всем диапазоне напряжений повышающего преобразователя (до 200 В).

2. Биполярный транзистор (БТ) BD139 способен нормировать ЗИ более эффективно, однако требует снижения амплитуды до 80 В.

3. Наилучшей эффективностью обладает мощный n-МОП транзистор IRF830, однако для полноценного его возбуждения требуется наличие в схеме драйвера управления затвора, питающегося напряжением не менее 8 В.

4. Выбор того или иного варианта схем реализации выходного каскада производится исходя из условий конкретной задачи (измерение расстояния прозвучивания, определение коэффициента затухания в объекте контроля и т. п.).

Проверка работоспособности разработанной установки производилась следующим образом. На образце из металла в форме параллелепипеда размерами 278×43×20 мм была проведена серия измерений времени распространения УЗ-колебаний в образце. Затем с помощью микрометра были произведены измерения толщин данного объекта. Сравнение результатов, полученных акустическим и метрологическим способами измерения, показывает достаточно высокую корреляцию между значением времени пробега и фактической толщиной образца (рис. 3).

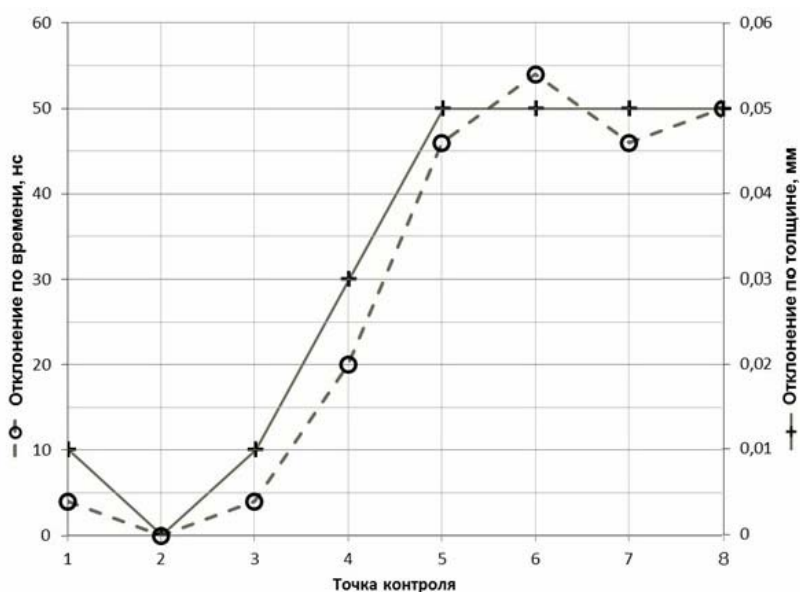


Рис. 3. Корреляция между метрологическим и акустическим измерением

Выводы

Таким образом, разработанный прибор действительно обеспечивает решение поставленных задач по измерению времени пробега УЗ-импульса и может быть использован в научных исследованиях или производственной деятельности, а реализация установки на базе МК позволяет при необходимости гибко менять параметры работы прибора, алгоритм обработки результатов, передавать полученные данные в персональный компьютер, например, для более наглядной визуализации результатов серии измерений или накопления баз данных.

Список литературы

1. Муравьев, В.В. Взаимосвязь скорости ультразвука в сталях с режимами их термической обработки // Дефектоскопия. 1989. № 2. С. 66–68.
2. Microchip. URL: http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf (дата обращения: 20.03.2020).

В. А. Меньшиков, магистрант, menshikov-vladislav.005@mail.ru
ИжГТУ имени М.Т. Калашникова

Разработка и исследование бесконтактного способа измерения торцевого профиля ротора винтового забойного двигателя с применением лазерной головки*

Обеспечение требований точности геометрических параметров роторов винтовых забойных двигателей при изготовлении и восстановлении является главным условием их функционирования. В статье описывается предложенный бесконтактный способ контроля торцевого профиля зубьев роторов. Измерения проводятся на ленточно-шлифовальном станке с ЧПУ без переустановки ротора с использованием лазерного триангуляционного датчика. Приведена методика расчета погрешности, возникающей при измерении торцевого профиля винтовой поверхности.

Ключевые слова: бесконтактный способ, ротор, винтовой забойный двигатель, лазерный датчик, погрешность измерения.

Для добычи нефти и/или газа либо для проведения капитального ремонта скважин используется винтовой забойный двигатель (ВЗД) (рис. 1), обладающий необходимым крутящим моментом и способный осуществлять бурение в различных направлениях в зависимости от типа используемой конструкции. Такой выбор обусловлен необходимостью разрушения горных пород с высокой эффективностью и достаточной скоростью. Использование в конструкции эластичных, но прочных зубьев статора позволяют достичь высокой жесткости на изгиб, а также существенно сократить утечки жидкости при ее прокачке [1].



Рис.1. Общий вид ВЗД

Винтовой забойный двигатель состоит из нескольких важных узлов: двигательной секции, шпиндельной секции, регулятора угла.

Основой двигательной секции является ротор. Ротор – металлический винт с износостойкой поверхностью, через который крутящий момент передается исполнительному механизму (валу шпиндельной секции двигателя). При циркуляции жидкости, подаваемой насосом в рабочую область статора под действием перепада давления, на роторе вырабатывается крутящий момент.

© Меньшиков В. А., 2020

*Меньшиков Владислав Александрович является призером студенческой секции XXXIX Научно-технической конференции молодежи, работа отмечена дипломом 3-й степени.

Обеспечение изготовления и восстановления с требуемой точностью торцевого профиля зубьев ротора и статора, является одним из необходимых условий функционирования ВЗД. Важнейшей задачей этих технологий является совершенствование и внедрение новых способов и устройств для контроля профиля зубьев, обеспечивающих снижение себестоимости (рис. 2).



Рис. 2. Торцевой профиль зубьев ротора и статора ВЗД

Специалистами компании ООО «АТ-Систем» (г. Ижевск) разработан и введен в эксплуатацию первый отечественный специальный полуавтомат с ЧПУ для ленточного шлифования винтовой поверхности роторов ВЗД (рис. 3) [2]. На этом же полуавтомате опробован и внедрен способ контроля торцевого профиля зубьев без переустановки ротора после выполнения финишной операции [3].

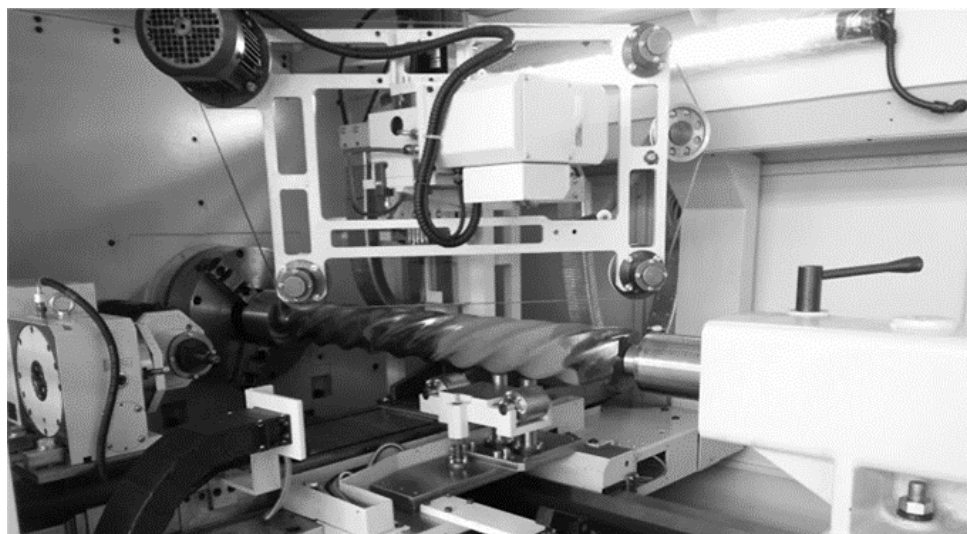


Рис.3. Специальный полуавтомат для ленточного шлифования роторов ВЗД

Измерительным инструментом являлась рука HPRA компании Renishaw с контактным датчиком RP3 и прямым щупом. При использовании такого (контактного) датчика возникают погрешности измерения, связанные с радиусной коррекцией датчика.

Во избежание таких погрешностей разработано устройство с бесконтактным способом измерения (рис. 4).

Производительность измерительной системы зависит от точности передачи механического блока и погрешности измерения лазерной установки. Условием обеспечения передачи точности предложенной системы является иссле-

дование погрешности измерения лазерного блока, в первую очередь к ним относятся: расстояние сканирования h , угол падения α , угол поворота β и угол прогиба γ . Проанализируем эти факторы и выведем наилучшие показатели точности для минимизации погрешности измерения.

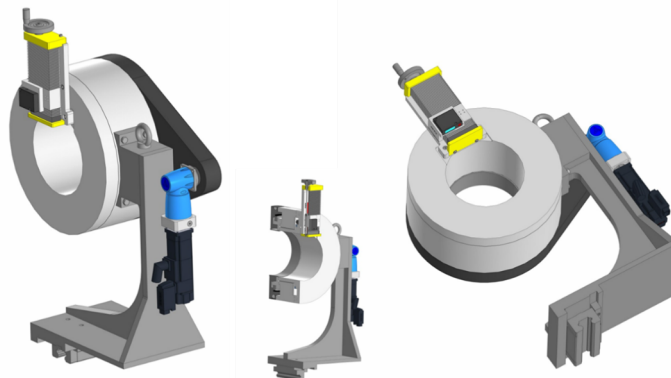


Рис.4. Общий вид «системы измерения»

Как показано на рис. 5, на погрешности лазерной измерительной системы влияют: расстояние сканирования h , угол падения α , анализируется угол поворота β и угол прогиба γ . P – измеряемая точка на наклонной плоскости, а угол наклона α . R – эффективный радиус приемной линзы, L_0 – это расстояние между измеряемой точкой P и центром M_1 приемной линзы, h – это угол между векторами KA и AM_1 , ω_0 – угол между векторами PM_1 и нормальным вектор n измеряемой точки P , d – это расстояние от центра M_1 приемной линзы до начальной точки K лазерного луча. Пространственная система координат $S(O-XYZ)$ и последующая система координат (со штрихами) устанавливаются с точкой P , как предыдущая. Ось Z совпадает с лазерным лучом, ось X находится на наклонной плоскости, а ось Y перпендикулярна наклонной плоскости. Когда лазер вращается вокруг оси Z , центральная точка M переходит в точку M_1 , соответствующий угол определяется как угол поворота β .

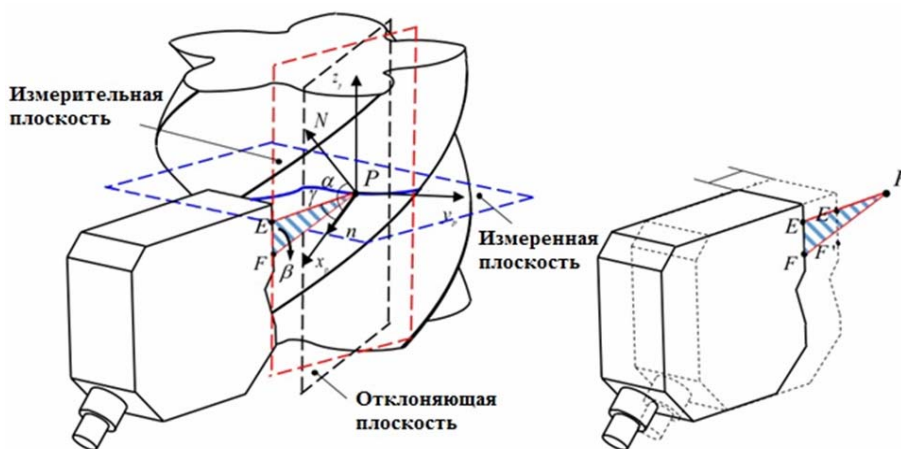


Рис. 5. Принцип измерения лазерного датчика

Угол наклона. Угол между лазерным лучом EP и нормальным направлением PN определяется как угол наклона α . На плоскости $Dxoz$, когда нормальное направление PN и принимающий лазерный луч PF определяются на другой стороне лазерного луча EP , угол наклона положительный (отрицательный).

Угол поворота. Может быть получен путем управления вращением угла поворотного стола. Угол поворота положительный (отрицательный), когда измеряемая поверхность вращается против часовой стрелки (по часовой стрелке).

Угол прогиба. Угол между плоскостью измерения ΔEPF и плоскостью $Dxoz$ определяется как угол прогиба γ ; он положителен (отрицателен), когда близок к (от) положительному(ого) направлению(я) оси y .

Угол отклонения γ может быть получен путем преобразования его в угол наклона α' и угол поворота β' . Чтобы выполнить это преобразование, измерительную плоскость $\Delta E'PF'$ можно получить плоскостью ΔEPF вращая угол отклонения вокруг оси X , и преобразованной плоскостью $\Delta EPF'$, $\Delta L'M'H'$ и системой координат S' . Затем угол наклона α' можно подтвердить нормалью направления PN измеряемой поверхности и лазерным лучом $E'P$.

Учитывая влияние угла прогиба γ , угол наклона α' может быть выражен как

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{PN \times E'P}{|PN| \times |E'P|}\right) = \arccos\left(\frac{\cos \gamma}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}\right), \quad (1)$$

где PN – нормальное направление лазерного луча; $E'P$ – лазерный луч; γ – угол прогиба; α – угол наклона.

Соотношение между углом отклонения γ с углом наклона α' и углом поворота β' (рис. 5) можно выразить как

$$\beta' = \arccos\left(\frac{n' \times OY}{|n'| \times |OY|}\right) = \arccos\left(\frac{\frac{\cos \alpha'}{\sin \gamma} \times \cos \theta_z + \sin \theta_z}{\sqrt{\left(\frac{\cos \alpha'}{\sin \gamma} \times \cos \theta_z + \sin \theta_z\right)^2 + \left(-\frac{\cos \alpha'}{\sin \gamma} \times \cos \theta_z + \sin \theta_z\right)^2}}\right), \quad (2)$$

где n' – нормальный вектор измеряемой точки P' ; θ_z – угол между лазерным лучом EP и осью Z' .

С помощью электронной таблицы Excel, Aiportal.ru, Grapher'a найдем влияние этих факторов на точность измерения.

Влияние расстояния сканирования h ($h = -10$ мм \approx 10 мм) на точность измерения лазера при различных углах наклона α (10, 20, 30 и 40°) и углах поворота β (0, 40, 80, 90, 100, 140, 180°). На рис. 6 показано влияние угла наклона α по точности измерения лазера при различных расстояниях сканирования h (8, 4, 0, 4, 8 мм), в случае угла поворота $\beta = 0^\circ$. На рис. 7 показано влияние угла по-

ворота β на точность измерения лазера при разных значениях угла наклона α (5, 10, 20, 30, 40 и 45°), в случае если расстояние сканирования $h = 5$ мм.

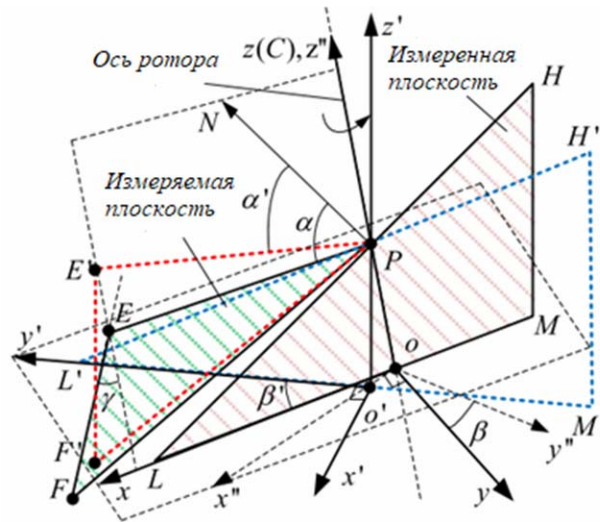


Рис. 5. Соотношение между углом поворота β и углом падения α

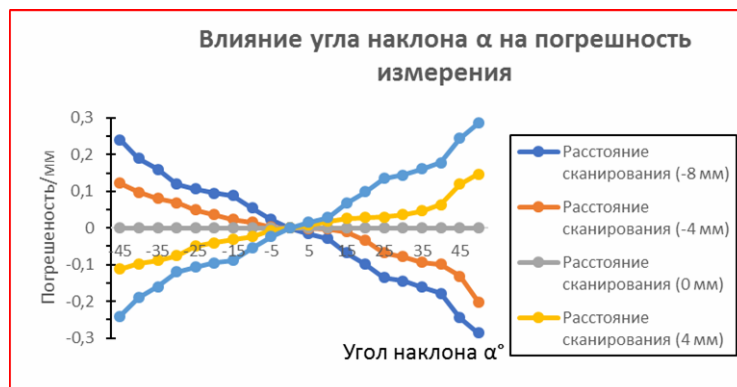


Рис. 6. Влияние угла наклона α на погрешность измерения

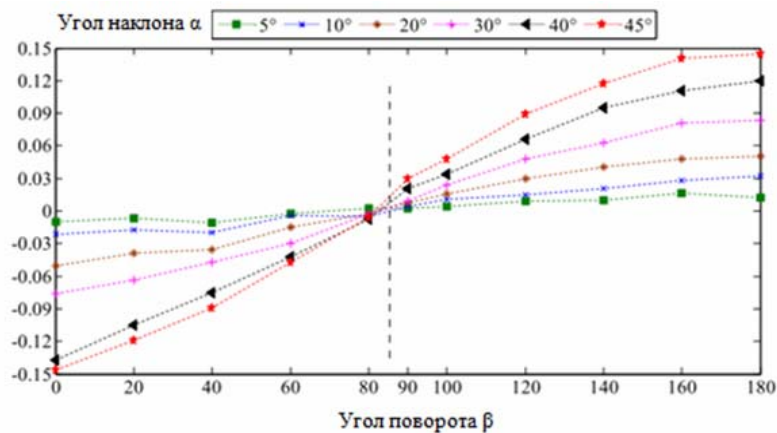


Рис. 7. Влияние угла поворота β на погрешность измерения

Выводы

1. Изменение погрешности измерения увеличивается с увеличением расстояния сканирования h при постоянном угле наклона α и угле поворота β .

2. При фиксированном угле наклона α и расстоянии сканирования h погрешность измерения может быть изменена с углом поворота β . Более того, когда угол поворота β равен 0 или 180° , ошибка самая большая. Ошибка мала в пределах угла наклона $80\dots 90^\circ$.

3. На фиксированном угле поворота β и расстоянии сканирования h изменение погрешности измерения увеличивается с увеличением угла наклона α .

4. В отношении фиксированного расстояния сканирования h изменение погрешности измерения увеличивается с увеличением угла наклона α . Погрешность изменяется линейно в пределах угла наклона от -30 до $+30^\circ$. В других областях, погрешность измерения изменяется нелинейно. Изменение уклона, кривая погрешности увеличивается с увеличением угла наклона α , а также увеличивается влияние угла наклона α на погрешность измерения.

5. При расстоянии сканирования $h = 0$ мм, погрешность измерения остается постоянной при изменении угла наклона α , а погрешность измерения составляет 0 мм.

6. В отношении фиксированного угла наклона α погрешность измерения регулярно изменяется при изменении угла поворота β .

7. Когда и угол наклона α , и угол поворота β находятся в максимуме, положительное значение погрешности измерения находится в максимуме. Когда угол наклона α максимален, а угол поворота β минимален, отрицательное значение погрешности измерения минимально.

8. Когда угол поворота приближается к 0 или 180° , скорость изменения погрешности измерения увеличивается с увеличением угла наклона α .

Список литературы

1. Балденко, Ф. Д. Расчеты бурового оборудования. М. : РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2012. 428 с.
2. Патент 164443 RU, МПК В24В19/00. Станок для финишной обработки винтовых поверхностей / О. А. Суглов, Е. В. Лукин, Д. Р. Габдулин [и др.].
3. Овчинников В. С., Сивцев Н. С., Лукин Е. В., Шубина М. И. Способ контроля торцевого профиля зубьев роторов винтовых забойных двигателей // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2017. Т. 20, № 3. С. 37–40.

К. С. Мыльников, студент, interparker0132.koncentardle@mail.ru
Ю. А. Фоминых, студент, fominykhj@inbox.ru
С. А. Струков, студент, manual2456@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование оптического и ультразвукового методов контроля посетителей

Статья содержит первичное сравнение работы методов контроля посетителей – при помощи ультразвуковых и оптических приемопередатчиков. Проведен анализ погрешности обоих методов и выработана методика их совместного использования для уменьшения данной погрешности.

Ключевые слова: датчики, посетители, расстояние, методы, фоторезистор, ультразвуковой, погрешность.

Введение

В успешной работе каких-либо предприятий в сфере услуг или продажи большую роль играет конкуренция. Таким образом, для ведения успешной деятельности требуется отслеживать количество посетителей и проводить его анализ. Чем корректнее будут измеренные данные, тем точнее будет их анализ.

Постановка задачи

Самыми доступными в финансовом плане (в пределах 150 руб.) датчиками отслеживания посетителей являются фотоприемники с парным источником света, а также ультразвуковые модули определения расстояния с ультразвуковым приемопередатчиком типа HC-SR04.

Необходимо исследовать погрешность каждого из методов и выработать методику, позволяющую уменьшить данную погрешность.

В качестве фотоприемника подходит фоторезистор, так как его размеры в отличие от фотодиодов, фототранзисторов или других фиксирующих наличие света элементов позволяют без труда вмонтировать его в какой-либо корпус.

Также в качестве фотопередатчика можно использовать лазерный диод из-за его невысокой стоимости и достаточной надежности.

Фоторезистором [1] называется прибор, сопротивление которого зависит от падающего на него светового потока. Как правило, чем больше света падает на его поверхность, тем меньше его сопротивление. Темновое сопротивление некоторых фоторезисторов может достигать 1 МОм.

В рассматриваемом случае измерения посетителей на фоторезистор будет светить пучок сфокусированного света, прерывание которого будет фиксироваться устройством. Для фиксации такого события можно использовать принцип делителя напряжения, одно звено которого на порядок меньше темнового

сопротивления резистора и подключено к какому-либо напряжению, например, к логической единице, а другое составляет сам фоторезистор, подключенный, например, к логическому нулю. Пока человек не пересекает луч фотопередатчика, на выходе делителя будет напряжение, близкое к логическому нулю. Как только человек начинает пересекать луч, сопротивление резистора резко возрастает, и на выходе делителя будет напряжение, близкое к логической единице, так как сопротивление фоторезистора становится на порядок больше, чем сопротивление другого звена делителя. Такие моменты смены напряжения с низкого на высокое (или наоборот) можно зафиксировать каким-либо устройством, например, микроконтроллером (микропроцессором) или счетчиком и вывести количество данных событий на какой-либо индикатор.

Второй датчик, HC-SR04 [2], представляет из себя готовый модуль, состоящий из пьезоэлектрического передатчика, такого же приемника и управляющего узла (рис. 1). При подаче на вывод TRIG датчика прямоугольного импульса высокого логического уровня шириной 10 мкс передатчик пошлет вперед 8 прямоугольных импульсов частотой 40 кГц. Когда эти импульсы отразятся от стоящего впереди объекта и вернуться обратно, на управляющем узле датчика произойдет перерасчет времени от посылы сигнала до получения его обратно; на другом выводе датчика, ECHO, возникнет импульс, пропорциональный расстоянию до объекта. Каждые 58 мкс выходного импульса – это 1 см расстояния.

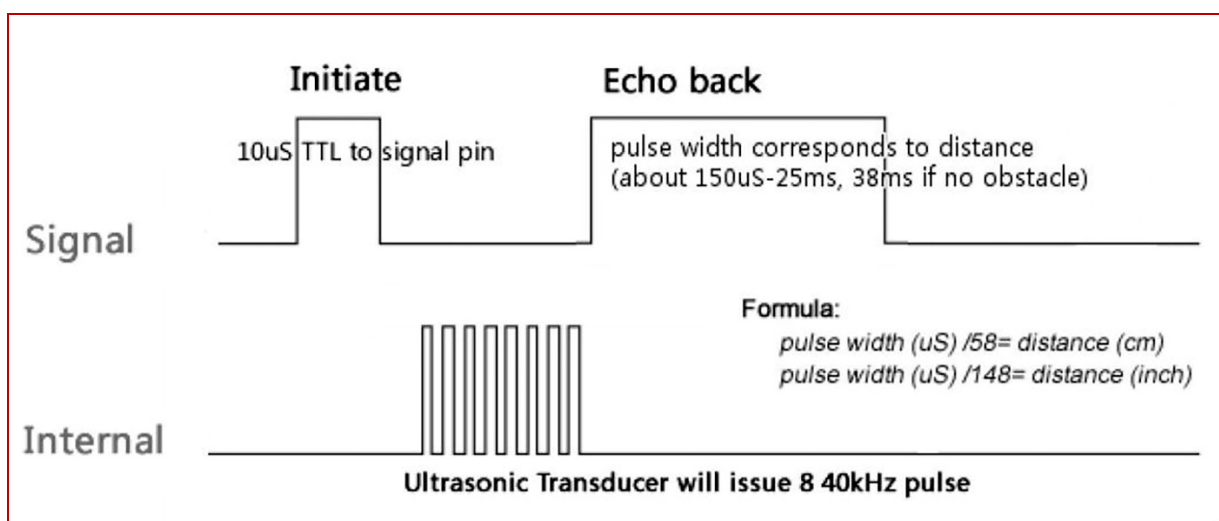


Рис. 1. Принцип работы датчика HC-SR04

При испытаниях датчика было выявлено, что максимальное измеряемое расстояние составляет 250...300 см, далее датчик начинает выдавать неверную информацию. Поэтому если датчик при установке не стоит напротив стены, требуется повесить какую-либо перегородку с другой стороны двери.

Методика измерений схожа с оптическим методом: когда человек появляется перед датчиком или уходит из поля зрения датчика, устройство фиксирует такое событие. Здесь играют роль две константы: расстояние, когда перед дат-

чиком есть человек, и когда перед датчиком человека нет (точнее, нижний и верхний пределы этих расстояний соответственно, измеряемые экспериментально). Когда предыдущее измеренное расстояние говорит о том, что человек есть, а нынешнее измеренное расстояние – что человека нет, такой момент фиксируется устройством.

Время между измерениями в данном случае в отличие от оптического метода играет роль, ибо если расстояние будет измеряться слишком быстро, например, при взмахе руками проходящего посетителя, устройство не сможет отличить, взмахнул ли человек руками или прошло несколько человек. В данном случае устройство посчитает взмах руками за несколько человек. С другой стороны, если задержка между измерениями будет слишком большой, устройство не заметит человека. Опытным путем была подобрана оптимальная задержка – 220 мс.

Описание эксперимента

Для решения данной задачи в качестве контролирующего узла был выбран 8-битный микроконтроллер семейства AVR ATmega, ATmega328p [3] с 32 килобайтами памяти ПЗУ прежде всего из-за соотношения цена – количество функций. Он обрабатывает данные, приходящие с обоих датчиков, и выводит количество посетителей на ЖК-экран с контроллером типа HD44780. Питание устройства производится от штатного блока питания 5 В. Структурная схема устройства приведена на рис. 2.

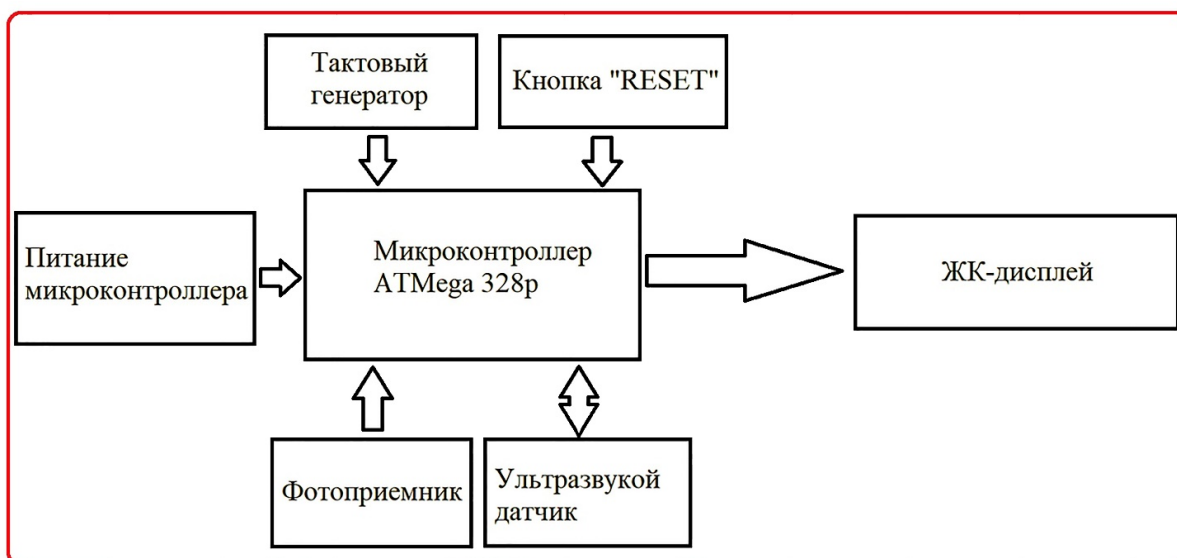


Рис. 2. Структурная схема устройства

Блок-схема алгоритма работы программного обеспечения, зашитого в микроконтроллер, приведена на рис. 3. Также на этом рисунке приведены конфигурируемые варианты подсчета посетителей.

Стоит отметить, что некоторые константы, такие как время между измерениями, расстояние до посетителя, когда он проходит мимо, и расстояние, измеряемое, когда посетителя нет перед датчиком, требуется находить опытным путем, настроив устройство на вывод измеренного расстояния на ЖК-дисплей.

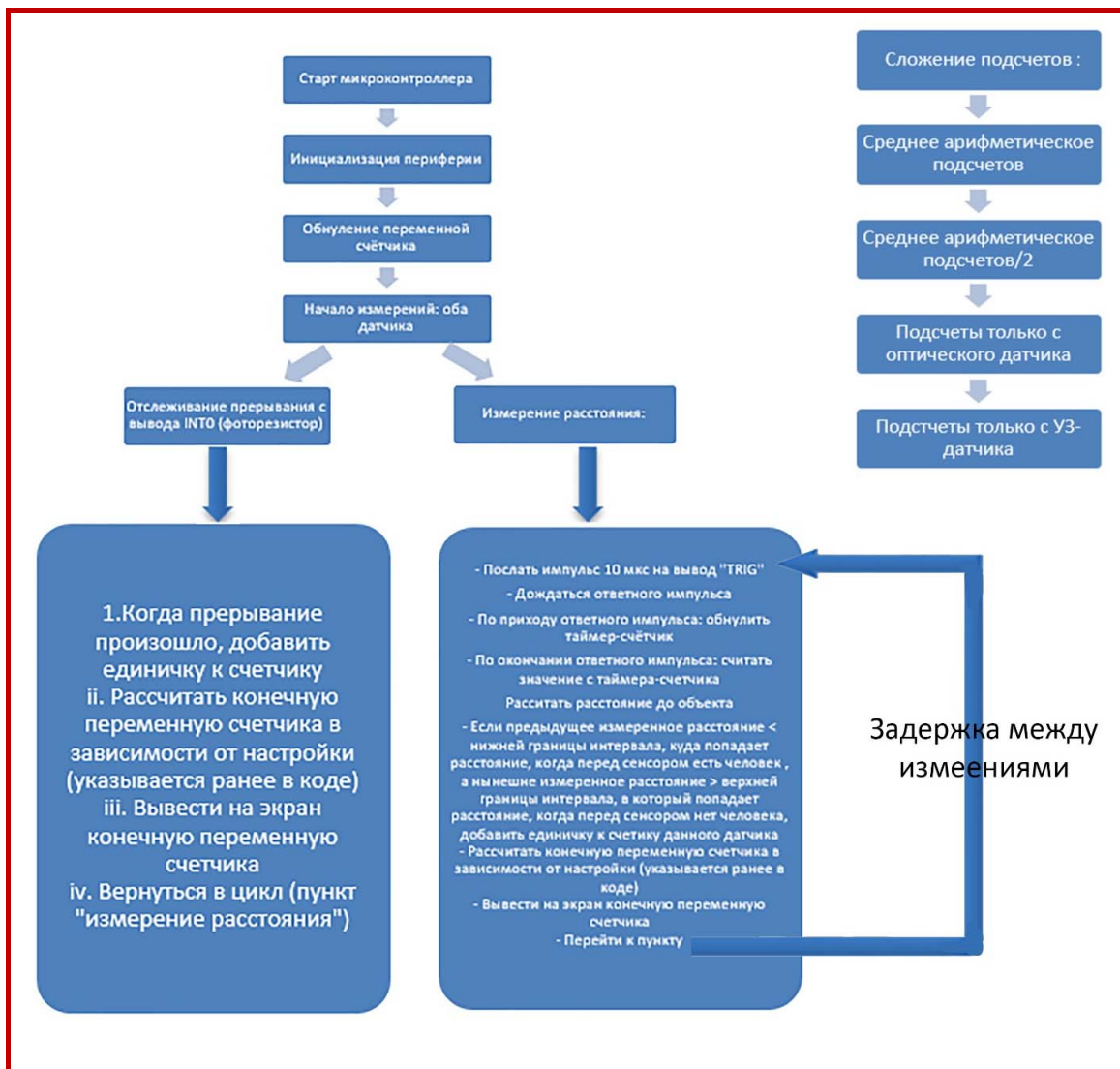


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы устройства

Испытания заключались в том, что два автора статьи ходили перед датчиком, вызывая события прохода посетителей, а третий считал их вручную. По достижении счета «400» проводилось сравнение измеренного количества посетителей и посчитанного вручную, то есть истинного количества.

По результатам испытаний датчика в разных режимах работы была составлена таблица, указывающая, какой метод наиболее точно считает посетителей.

Полученные результаты всех экспериментов

Средство измерения	Истинное значение (кол-во прошедших)	Измеренное значение (кол-во прошедших)	Вывод
Фоторезистор	400	404	$\epsilon_x \approx 1\%$
Ультразвуковой датчик	400	403	$\epsilon_x \approx 0,75\% \approx 1\%$
Среднее арифметическое	400	400	$\epsilon_x \rightarrow 0\%$

Как видно из таблицы, относительная погрешность двух методов по отдельности составила примерно 1 %. Находя среднее арифметическое от количества посетителей, найденных обоими методами, относительную погрешность удалось сократить практически до нуля.

Выводы

В ходе исследования было выявлено, что метод нахождения среднего арифметического от подсчетов действительно уменьшает ошибку измерения. Но для приблизительных расчетов достаточно даже одного из этих методов, так как они дают весьма неплохие результаты.

Список литературы

1. Электроника для всех. Фотодатчик. Ч. 1. URL: <http://easyelectronics.ru/fotodatchik.html>
2. Как работает ультразвуковой датчик. URL: <https://drakkar11.com/kak-rabotaet-ultrazvukovoy-datchik/>
3. Магазин электроники ChipDip: ATmega48P/V, 88P/V, 168P/V, 328P Datasheet. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/303/DOC000303014.pdf>

И. С. Николаев, магистрант, referalov12@mail.ru
В. В. Воронов, магистрант; *Н. Д. Иванов*, магистрант
С. А. Шиляев, доктор технических наук, профессор кафедры «АМО»
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Управление жизненным циклом изделия с использованием облачных технологий

В настоящее время большинство предприятий используют PLM-системы (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделия). Это дает возможность в полной мере управлять бизнес-процессом изготовления деталей. Чтобы внедрить PLM, необходимо затратить много ресурсов на покупку лицензионных программ и на закупку мощных компьютеров. Решением данной проблемы послужили облачные сервисы PLM. В данной статье рассказаны основные преимущества использования облачных PLM от локального программного обеспечения.

Ключевые слова: бизнес-процесс, локальное PLM, облачное PLM, управление жизненным циклом продукта, конкурентоспособность, PDM, CAD.

По статистике из всех открывшихся предприятий 90 % закрывается в течение первого года, и лишь 3...5 % продолжает существовать более 3 лет. Основной причиной закрытия является неспособность выдержать конкуренцию. Чтобы быть конкурентоспособными, нужно двигаться в ногу со временем, повышать качество выпускаемой продукции и уменьшать стоимость ее изготовления.

По оценкам экспертов, внедрение PLM-систем позволяет увеличить эффективность производства на 40...50 % за счет сокращения сроков на различных этапах:

– на этапе производства сокращаются сроки технологической подготовки производства на 30...90 %;

– на этапе планирования сборки выпускаемой продукции разработка типа сборки сокращается на 20...40 %, а сам цикл сборки уменьшается в 1,5...2 раза;

– на этапе планирования процессов запуск изделия в производство сокращается на 40...80 %, снижается стоимость запуска изделия в производство в 1,5...2 раза;

– на этапах проектирования технологических процессов повышается качество технологической документации, уменьшается количество ошибок, сокращаются сроки разработки документации в 2...4 раза.

Но как еще можно снизить стоимость изготовления? Появилась возможность пользоваться программами PLM через облако. Со слов разработчиков, облачные PLM позволят повысить эффективность производства еще на 6... 7 %.

Облачное управление жизненным циклом продукта

Управление жизненным циклом продукта в облаке, или PLM в облаке – это интернет-система управления продуктом и связанной с ним информацией от стадии разработки до выпуска готовой продукции. PLM в облаке становится все более популярным среди производителей товаров по всему миру как способ управления этапами разработки продукта для совместной работы, отслеживания и регулирования изменений в продукте.

Переход к управлению жизненным циклом продукта (PLM) в облаке

Термин PLM был изобретен в конце 1990-х, когда появился новый тип корпоративного программного обеспечения, сфокусированный исключительно на разработке продуктов. Концепция PLM родилась как ответ на ускоренные циклы проектирования и растущую потребность компаний отслеживать данные о продукции.

До PLM вариантами управления продуктом были либо бумажные решения, либо дорогостоящие системы управления данными о продуктах (PDM), предназначенные для управления большими файлами систем оборонного и аэрокосмического проектирования (CAD). По мере увеличения нагрузки высокоскоростных изменений в отрасли системы PLM стали решением для производителей оригинального оборудования, стремящихся более эффективно использовать бумажные процессы.

Эволюция от локальных PLM-решений до PLM в облаке

Изначально PLM был локальным программным решением, но поскольку компаниям все чаще приходилось обмениваться данными о продуктах (включая разработку, производство, эксплуатацию, контроль качества, закупки, нормативную деятельность и маркетинг) с заинтересованными сторонами как внутри организации, так и за ее пределами, потребность в PLM в облаке выросла.

Чтобы быть конкурентоспособными, данные о продуктах должны беспрепятственно передаваться по бизнес-направлениям как поставщика, так и клиента. Особенно это важно в высокотехнологичных организациях, которые часто производят комплектующие к своим товарам на стороне. Компании должны совместно работать над изменениями и отправлять производственные данные с высокой скоростью, что делает облачные приложения идеальными для передачи данных.

Подобно PLM локальному PLM в облаке является полезным инструментом для управления данными о продуктах, поскольку он позволяет производителям собирать информацию о разработке продуктов, оптимизировать заказы и запросы на изменения, а также улучшает связь с поставщиками. Так как облачная PLM-система доступна для всех, кто подключен к интернету, это более простой способ управления сложными данными о продуктах в быстроразвивающихся и географически распределенных организациях.

Чем PLM в облаке отличается от локального PLM

1. Облачные PLM-решения требуют более низкой первоначальной стоимости для внедрения и намного дешевле в обслуживании.

2. Облачные PLM-системы обеспечивают лучшую связь между производителями и поставщиками и часто могут предоставить более оптимизированное решение для управления данными о продукции и контроля изменений.

3. Локальный PLM имеет дорогой и длительный процесс интеграции, который требует лицензий на программное обеспечение и значительных инвестиций в инфраструктуру.

4. Облачные PLM-решения поддерживаются поставщиком программного обеспечения, это означает, что установка проста и не требует внутренних ресурсов для обновлений. В результате все пользователи по всему миру получают доступ к одной и той же автоматически обновляемой версии облачной системы PLM.

5. PLM в облаке обеспечивает лучшее сотрудничество между производителями и их глобальными цепочками поставок, обеспечивая доступ к данным о продукции через любой компьютер, подключенный к интернету.

6. PLM в облаке позволяет компаниям предоставлять ограниченный доступ к просмотру и редактированию для определенных пользователей, защищая конфиденциальную интеллектуальную собственность без необходимости использования брандмауэров и обходных путей.

5 преимуществ облачных PLM

- простота реализации;
- облегчает инновации;
- безупречное сотрудничество;
- мощное управление данными продукта;
- низкая общая стоимость владения.

Поскольку PLM в облаке – это более совместная модель предоставления услуг PLM, чем локальное программное обеспечение, ее все чаще применяют производители по всему миру.

Как предприятия могут использовать PLM в облаке

Хотя облачные PLM-решения и локальные PLM-решения работают и для управления данными о продукте, существуют некоторые уникальные особенности облачных PLM-решений, которые могут принести огромную пользу предприятиям. Предприятия могут использовать облачные PLM-системы, чтобы упростить запросы на изменение и заказы, упростить взаимодействие в цепочке поставок и значительно повысить эффективность.

Проблемы глобальных различий во времени, языковых барьеров и несоответствующих версий данных о продуктах уменьшаются, когда компании могут централизовать, контролировать и анализировать информацию о продуктах, включая спецификации материалов, спецификации деталей и заказы на изменения в режиме онлайн. Компании, поставляющие детали или сборку на аутсорсинг, также могут извлечь выгоду из облачных систем PLM, поскольку они могут мгновенно обновлять данные о продуктах для поставщиков по всему миру и быть уверенными, что поставщики работают над последней версией спецификации.

Вывод

Благодаря облачному PLM сокращаются затраты на внедрение и обслуживание программного продукта. Улучшается связь между производителями и поставщиками. Пропадает необходимость в мощных информационных машинах. При этом функционал облачных PLM не уступает локальному программному обеспечению. Это значит, что внедрение облачных PLM позволит предприятиям быть конкурентоспособными.

Д. А. Пономарев, магистрант, monster5432@mail.ru
А. С. Меньшиков, магистрант, Men.al.eks@mail.ru
Д. А. Галицын, магистрант, danilgalicyn@gmail.com
М. А. Косарев, магистрант, maximka.kosarev@mail.ru
С. А. Шиляев, доктор технических наук, профессор кафедры «АМО»
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Организационные особенности внедрения САПР/PLM в условиях непрерывного усложнения современных технических средств и процессов их изготовления

Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью предприятий самосовершенствоваться путем обновления своего программного обеспечения. Статья информирует о том, как правильно и с минимальными потерями обновлять программное обеспечение.

Ключевые слова: CAD/PLM, программное обеспечение, САПР, внедрение, система, производство, ЧПУ, стандарты.

Непрерывное усложнение современных технических средств и процессов изготовления, постоянно повышающиеся требования к надежности и качеству продукции, а также уменьшение сроков подготовки производства, трудоемкости и стоимости работ постоянно ведут к необходимости внедрения современного программного обеспечения САПР/PLM систем [1, 2].

Перед предприятиями возникает задача выбора САПР/PLM. Выбор системы проектирования и управление жизненным циклом выпускаемого изделия сопровождается рядом критериев САПР/PLM для производства (рис. 1).



Рис. 1. Основные критерии выбора САПР/PLM

- **Функциональность.** Зависит от решаемых задач [1], возможен выбор как 2D-САПР легкого и среднего уровня, так и 3D-систем среднего и тяжелого уровня для подготовки производства. При выборе функциональности PLM-систем уделяют внимание на быстрый поиск документации, возможность электронного согласования, наличие универсального просмотрщика документации.

- **Удобство использования.** Отвечает за удобство интерфейса системы.

- **Возможность выпуска документации с требованиями ЕСКД,** а также стандартами систем ISO, ANSI, DIN при необходимости вести разработку с зарубежными партнерами.

- **Наличие дополнительных специальных приложений, библиотек, модулей** для расширения задач.

- **Системные требования программного обеспечения.**

- **Стоимость владения лицензиями программного обеспечения.**

- **Сервис поставщика.** Критерий является наличием сервиса на ПО.

Что необходимо для внедрения САПР и ПЛМ

1. Предварительное изучение готовности предприятия к предстоящим изменениям. Процесс внедрения возлагается на руководителя подразделения, который должен обладать ресурсами для его запуска и дальнейшей реализации.

2. Создание группы внедрения проекта, организованной в соответствии с приказом руководителя предприятия. Последовательность внедрения CAD/PLM-систем указана на рис. 2.

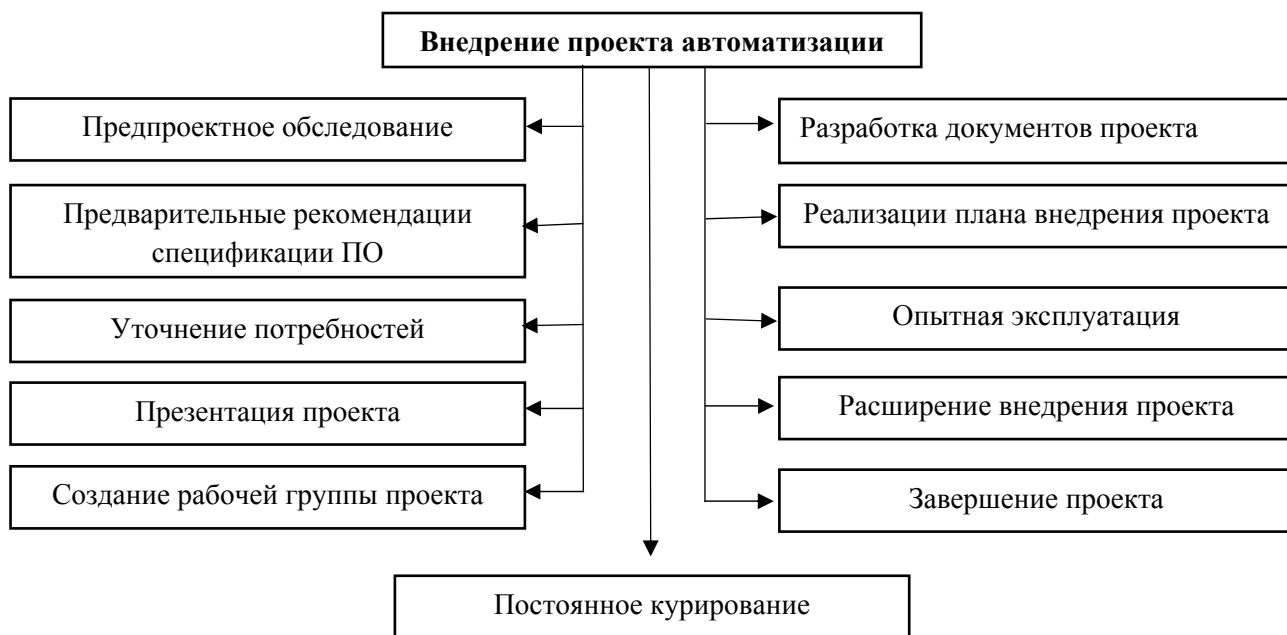


Рис. 2. Последовательность внедрения CAD/PLM-систем

3. Предпроектное обследование предприятия. Сюда входит анализ текущего состояния проектирования на предприятии. В результате анализа готовится отчет, в котором указана структура отделов, решаемые задачи, число работников, наличие ПК и лицензионного ПО.

4. Подготовка предварительных рекомендаций по приобретению недостающего ПО. Проанализировав квалификационный уровень владения ПК и покупаемого ПО, разрабатываются планы на курсы обучения и аттестации. В результате появляется документ с перечнем недостающего ПО и курсов обучения, освещаются вопросы цели, задач и последствий проекта автоматизации.

5. Уточнение потребности в обеспечении – ЭВМ, технике и офисном оборудовании. По итогам этого этапа составляется документы на закупку аппаратного обеспечения.

6. Встреча с коллективом ИТР с показом идей внедрения проекта автоматизации, пояснениями целей, задач и результатов внедрения.

7. Создание группы внедрения проекта.

8. Разработка, согласование и утверждение технического задания (ТЗ) на внедрение проекта.

9. Реализация внедрения проекта в соответствии с п. 6. с подготовкой и утверждением документов.

10. Опытная эксплуатация внедрения с составлением отчета о результатах ее завершения с проведением анализа, принятием решения о работе над ошибками.

11. Реализация проекта в технической подготовке производства.

12. Завершение проекта внедрения. Подготовка и проведение совещаний по вопросам результатов достижения цели проекта.

13. Постоянное курирование предприятия, выявление новых задач внедрения.

Особенности внедрения при подготовке производства (рис. 3)

- Согласование технической документации, обмена данными, поиск технической документации.

- Создание единого информационного пространства (ЕИП) жизненного цикла изделия (ЖЦИ). В ЕИП содержится и копится вся информация о продукции.

- Администрирование программного обеспечения, архива, баз данных.

- Корпоративная культура и неформальные отношения.

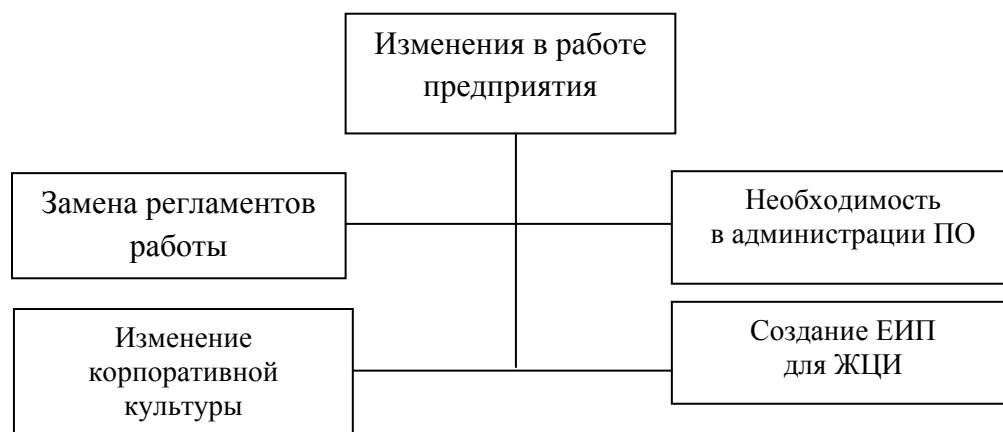


Рис. 3. Организационные особенности в связи с внедрением САПР/PLM

Риски внедрения комплекса средств автоматизации (рис. 4)

- Первоначальная завышенная эмоциональная нагрузка персонала.
- Загруженность персонала, связанная с проведением обучения и внедрения PLM-систем.
- Снижение производительности работ.
- Сопrotивление части персонала при перестройке работ на рабочем месте.

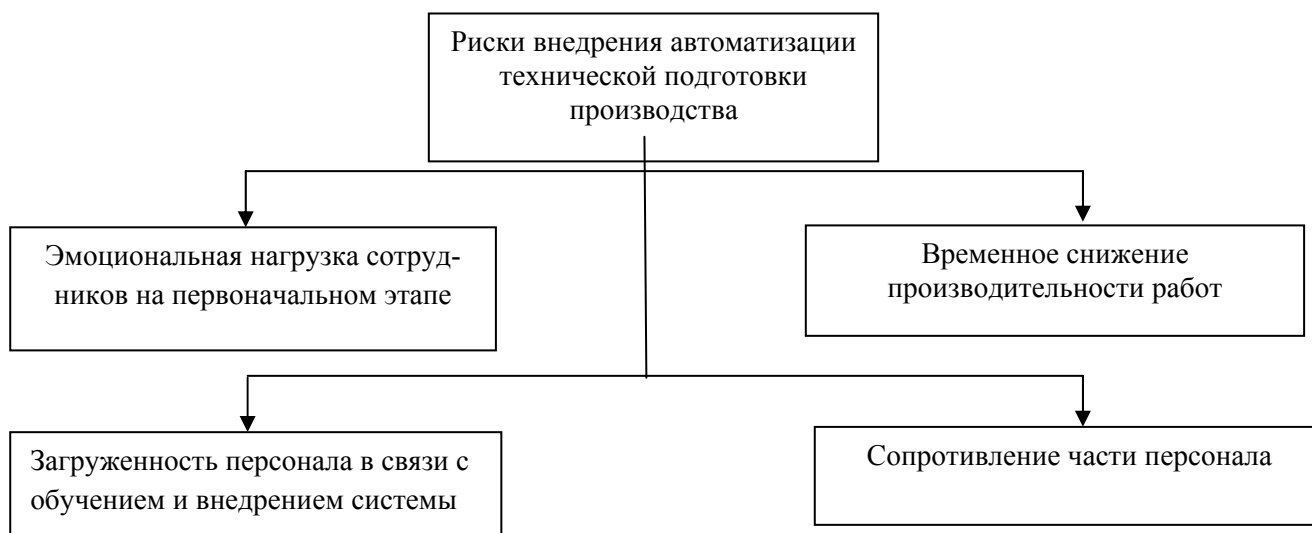


Рис. 4. Риски, связанные с внедрением средств САПР/PLM

Что необходимо для успеха и сокращения сроков внедрения

- Составление целей, определение сроков внедрения.
- Наличие утвержденного ТЗ.
- Формирование критериев достижения цели.
- Тщательное и детальное документирование всех действий в процессе внедрения.
- Поэтапное внедрения и обучение сотрудников.
- Учет всех затрат на внедрение в течении первого года.
- Мотивация сотрудников.

Список литературы

1. Горобец, И. А. Выбор автоматизированных систем технической подготовки производства / И. А. Горобец, И. Н. Грищенко, Н. В. Голубов // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XXI Междунар. науч.-техн. конф. (Севастополь, 15–20 сентября 2014 г.). В 3 т. Донецк : МСМ, 2014. Т. 1. С. 51–53.
2. Ребров, А. В. Влияние структуры мотивации работника на результативность труда. Новая парадигма в управлении мотивацией. Lambert Academic Publ., 2011, 156 с. ISBN 978-3-8433-2047-4.

А. В. Ротарь¹, магистрант, defka23@gmail.com
Е. М. Марков^{1,2}, кандидат технических наук, доцент, инженер-программист,
zuper_cad@mail.ru

¹ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

²Учебно-научный центр «ЭНЕРГОМАШ», Ижевск

Регистрация движения глаз

Рассматриваются методы и технические решения определения точки пересечения оптической оси глазного яблока и плоскости экрана, на котором предъявляется визуальный стимул. Предлагается и обосновывается возможность использования бесконтактной оптической методики регистрации движения глаз с целью дальнейшей автоматизации контроля восприятия текстовой информации с экрана при помощи видеокамеры.

Ключевые слова: окулография, движение глаз, контроль восприятия, регистрация движения глаз.

Введение

Человек основную часть информации об окружающем мире воспринимает с помощью зрения. Все элементы зрительной системы тесно взаимосвязаны между собой, поэтому изучение траектории движения взгляда позволяет точнее делать выводы о процессах зрительного восприятия, внимания, представления, наглядно-действенного мышления, координации движений, регуляции деятельности и мыслительных процессах человека в целом. Областью знаний и практики, занимающихся разработкой средств и процедур регистрации движения глаз, является окулография (*eye tracking*) [1].

В большинстве исследований, использующих регистрацию движения глаз, за исключением исследований, связанных с психологией и когнитивными науками, стоит задача гейзтрекинга (*gaze tracking*) – нахождение точки пересечения оптической оси глазного яблока и плоскости экрана, на котором предъявляется некоторый визуальный стимул [2].

Основная часть

Основным инструментом распознавания и регистрации положения зрачка и движения глаза является отслеживатель глаз (*tracker, eye tracker*) – устройство, используемое для определения ориентации оптической оси глазного яблока в пространстве [3].

Глаза человека непрерывно совершают движения, которые являются индивидуальными для каждого человека и различаются по скорости и длительности фиксации, но в целом их можно разделить на две основные группы. Быстрые, баллистические, скачкообразные перемещения зрачка называются *саккады* (длительность фиксации 10...70 мс), а фокусировка зрачка на каком-либо объекте называется *фиксацией* (длительность фиксации 150...450 мс). Именно во время фиксации происходит восприятие и запоминание информации.

Для настройки под каждого респондента перед исследованием проводится несложная калибровка системы. Респондента просят посмотреть поочередно на несколько точек – маркеров на экране. Во время этой процедуры отслеживатель глаз (*eye tracker*) измеряет необходимые характеристики глаз респондента и использует их для дальнейшего обучения системы.

Технологии определения ориентации оптической оси глазного яблока и динамики изменения этой ориентации во времени условно делятся на две группы [4]. Первая группа – инвазивные методы регистрации, использующие непосредственно механический контакт с глазом – установку датчиков на органы человека. Вторая группа – неинвазивные методы, использующие бесконтактные оптические методы записи движения глаз с помощью видеокамеры.

В последние годы резко увеличилась сложность систем регистрации движения глаз и простота в их использовании, что привело к увеличению интереса к ним со стороны коммерческого сектора. Большинство существующих систем реализуют оптимизацию внешнего дизайна и автоматизацию разработки [5, 6].

В отличие от них предлагается разработка системы контроля восприятия текстовой информации, в которой будет фиксироваться сам факт восприятия (чтения) текстовой информации. Данная система востребована в используемых на сегодняшний день системах учета рабочего времени и контроля сотрудников для фиксации и анализа фактов восприятия текстовой информации.

Так, как для реализации большинства методов регистрации глаз необходимо специальное оборудование и лабораторные условия, а цифровые видеокамеры широкодоступны в данный момент, поэтому в качестве регистрирующего устройства системы был выбран бесконтактный оптический способ.

Для реализации предлагаемой системы был произведен поиск и анализ технических решений регистрации движения глаз, реализующих бесконтактный оптический метод. Были рассмотрены следующие системы: *GazeRecorder*, *Opengazer*, *TrackEye*, *WebGazer*. Так как перечисленные технические средства имеют схожие технические характеристики, были выбраны следующие критерии сравнения систем (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение технических средств

Технические средства	Открытый программный код	Свободное движение головы	Возможность применения в web-браузере	Регистрация фиксаций глаза
<i>GazeRecorder</i>	нет	да	да	да
<i>Opengazer</i>	да	нет	нет	да
<i>TrackEye</i>	да	нет	нет	да
<i>WebGazer</i>	да	нет	да	да

В результате анализа была выбрана *java-script*-библиотека *WebGazer*[7]. Рассмотрим общий случай оценки взгляда по оси *X* в этой библиотеке. Доказано, что расстояние между взглядом и курсором в среднем составляет 74 пикселя в момент клика пользователем [8]. *WebGazer* упрощает анализ, так как предполагается, что взгляд и курсор идеально совпадают во время щелчков.

Чтобы сопоставить пиксели глаза с местоположением взгляда, реализуется модель *ridge* регрессии [9], которая отображает вектор характеристик глаза

120D на координаты отображения (Dx, Dy) для каждого щелчка. Мы получаем функцию $x: f(v) \rightarrow Dx$, которая по заданному вектору v -элемента зрачка предсказывает местоположение взгляда на экране вдоль оси X . Функция имеет вид $f(v) = \varphi(x)^T w$, где $\varphi(x)$ – базисная функция, a – вектор весов, которые удовлетворяют условию

$$\min_w \sum_{x_i \in X} \|Dx_i - f(x_i)\|_2^2 + \lambda \|w\|_2^2. \quad (1)$$

Последнее слагаемое λ действует как регуляризация для наказания за установку. Вычисление вектора весов в матричной записи

$$w = (X^T X + \lambda I)^{-1} X^T Y, \quad (2)$$

где X – расчетная матрица характеристик глаза, а Y – вектор отклика координат отображения. Когда курсор остается бездействующим, расстояние между ним возрастает, искажая данные. Тогда модель *ridge* регрессии изменяется, добавляя веса к выборкам, введя в уравнение 3-диагональную матрицу K , которая содержит веса для каждой выборки вдоль диагонали:

$$w = (X^T K X + \lambda I)^{-1} X^T K Y, \quad (3)$$

Каждый раз, когда курсор перемещается, его соответствующей позиции присваивается вес 0,5 и впоследствии уменьшается на 0,05 каждые 20 мс. Это позволяет расположению курсора вносить вклад в регрессионную модель в течение не более 200 мс – длительности, сравнимой с фиксацией.

Таким образом, когда курсор находится в режиме ожидания, эта модель возвращается к исходной простой регрессии (формула (2)), где происходит обучение только за счет щелчков респондента.

В ходе работы был поставлен эксперимент по тестированию системы с использованием библиотеки *WebGazer*, параметры эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры эксперимента

Количество тестов	10
Точек калибровки	9
Нажатий на калибровочный маркер	5
Предсказаний системы для расчета	50
Расстояние от монитора до респондента	55 см
Видеокамера	<i>Kreolz WCM-02</i> [1.3 МП, 30 Гц, 1280x1024 px]
Монитор	<i>LG MP58</i> [21.5 дюйм, 1920x1080 px, 60 Гц]
Браузер	<i>Google Chrome</i> [80.0.3987.122]

Был реализован процесс калибровки и проанализированы выходные параметры системы. В качестве выходных параметров определялись точки предсказания системы (50 последних точек), результаты эксперимента пред-

ставлены в табл. 3. Из них следует, что точность данной системы приемлема для задач гейзтрекинга.

Таблица 3. Результаты эксперимента

Расстояние от объекта наблюдения до среднего результата предсказания системы	106,3рх
Процент отклонения среднего результата предсказания системы от площади дисплея	1,7
Разность углов результата среднего предсказания системы и предмета наблюдения по горизонтали, град	1,97
Разность углов результата среднего предсказания системы и предмета наблюдения по вертикали, град	1,66

Заключение

На данный момент современные системы окулографии чаще всего используются специалистами в области машинных интерфейсов или исследователями психофизиологических особенностей зрения. Но бесконтактные оптические методы регистрации глаз создают возможность применения систем окулографии с приемлемой для гейзтрекинга точностью на основе широкодоступного оборудования с целью дальнейшей автоматизации контроля восприятия текстовой информации.

Список литературы

1. *Барабанщиков, В. А.* Методы окулографии в исследовании познавательных процессов и деятельности / В. А. Барабанщиков, М. М. Милад. Институт психологии РАН, 1994. 88 с.
2. Hari Singh, Dr. Jaswinder Singh. Human Eye Tracking and Related Issues: A Review. *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 2, Is. 9, September 2012.
3. The Application of Eye Tracking in Business, Barbara Wąsikowska Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, January 2014.
4. *Фазылзянова, Г. И.* Айттрекинг: когнитивные технологии в визуальной культуре / Г. И. Фазылзянова, В. В. Балалов // Тамбовский гос. ун-т имени Г. Р. Державина. 2014. С. 628-633. ISSN: 1810-0198.
5. Платформа для юзабилити-тестирования с помощью веб-камеры. <https://www.eyesdecide.com/> (дата обращения 25.02.2020).
6. Платформа для юзабилити-тестирования с помощью веб-камеры. <https://eyezag.com/eye-tracking/webcam/> (дата обращения 26.02.2020).
7. WebGazer: Scalable Webcam Eye Tracking Using User Interactions, A. Papoutsaki, P. Sangkloy, J. Laskey, N. Daskalova, J. Huang, J. Hays. Proc. of the 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 2016.
8. Jeff Huang, Ryen W. White, and Georg Buscher. User see, user point: Gaze and cursor alignment in web search. In Proc. CHI, 2012, pp. 1341-1350.
9. Arthur E Hoerl and Robert W Kennard. Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 1970, 12 : 55-67.

Р. И. Федотов, магистрант, rainbox96@mail.ru
С. А. Шильяев, доктор технических наук, профессор кафедры «АМО»
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование метода, направленного на повышение точности обрабатываемых деталей на имеющемся парке станков с ЧПУ

Качество и точность машиностроительного изделия всегда будет оставаться главным требованием заказчика в современном машиностроительном мире. В настоящей работе акцент сделан на обеспечение точности изготовления деталей путем рационального подбора оснастки. Проведен эксперимент, направленный на выявление отклонений от геометрических параметров оснастки. Составлены рекомендации для оператора станка по выбору оснастки для чистовой и черновой обработки.

Ключевые слова: станок, ЧПУ, координатно-измерительная машина, геометрические параметры.

Требования к инструменту для осуществления высокоскоростной и высокопроизводительной обработки

В связи с реализацией качественно иного процесса резания возрастают требования к режущему инструменту. Отметим наиболее важные.

1. Биение менее 3 мкм и минимальный вылет с максимальной жесткостью закрепления. По некоторым данным, существует практически линейная зависимость износа от биения инструмента при высоких скоростях резания. К примеру, биение величиной 10 мкм соответствует быстрому износу кромки инструмента на 10 мкм.

2. Обеспечение минимальной длины контакта инструмента с обрабатываемой деталью для снижения сил резания и риска возникновения вибрации.

3. Применение конических хвостовиков увеличенного размера, особенно для мелкоразмерного инструмента.

4. Использование мелкозернистых твердых сплавов с покрытием рабочих поверхностей для повышения износостойкости.

5. Наличие в инструменте отверстий для внутреннего подвода охлаждающей жидкости или сжатого воздуха.

6. Специальная геометрия режущей части при высокоскоростной обработке.

7. Применение инструментов симметричной формы. Так, например, в случае конструкции инструмента с одним зубом возникают отжатия, приводящие к потере точности. Для компенсации этого эффекта на противоположной стороне устанавливается второй зуб, что приводит к компенсации отжимающих усилий.

8. Концевая монолитная фреза должна иметь три канавки (с таким числом зубьев эта фреза становится наиболее пригодной для выполнения высокоскоростной обработки).

9. Следует выбирать фрезы с закругленной режущей кромкой для уменьшения вибрации [1].

Цель данной работы заключается в проведении эксперимента, направленного на повышение точности геометрических параметров детали и шероховатости поверхностей детали после механической обработки.

Работа проведена в три этапа:

1. Механическая обработка заготовок.
2. Измерение геометрических параметров.
3. Измерение шероховатости обработанных поверхностей.

Механическая обработка заготовок

Заготовки для образцов механической обработки выполнены из технологических отходов. С целью обеспечения чистоты эксперимента на заготовках в двух местах методом чеканки нанесен порядковый номер. Размеры заготовки 90×90×20 мм. Для станка с числовым программным управлением VCP-1000 разработана управляющая программа, задача которой – фрезерная обработка поверхности заготовок. Объект исследования – оправка.

Обработка всех образцов в количестве 12 шт. проведена в одной зоне рабочего стола с целью исключения погрешностей, вызванных различной жесткостью и износа узлов станка (рис. 1).



Рис. 1. Механическая обработка на станке с ЧПУ

Измерение геометрических параметров

Измерения проведены на координатно-измерительной машине OPTON. Проведено измерение плоскостности обработанных поверхностей (рис. 2), а также проверен линейный размер 70 (ширина понижения).



Рис. 2. Измерение геометрических параметров на координатно-измерительной машине

Полученные данные отражены в протоколе измерений. Средний показатель плоскостности составил 0,02 мм (кроме образцов № 4 и 9, плоскостность которых 0,3 мм). Для наглядного рассмотрения результатов построим график (рис. 3), согласно которому плоскости 3 и 4 на образцах № 4 и 9 имеют максимальное отклонение от плоскостности относительно остальных образцов.

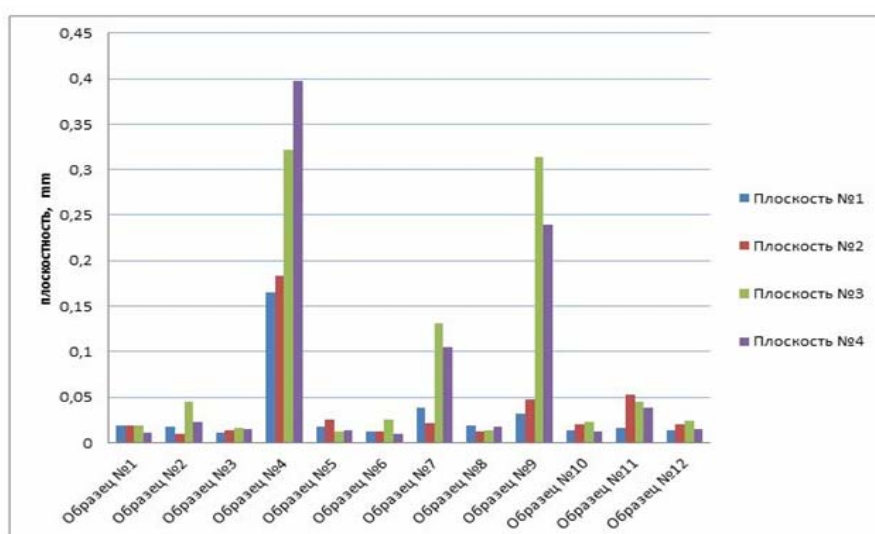


Рис. 3. График отклонений от плоскостности обработанных поверхностей.

Также имеется не критичное отклонение плоскостей 3 и 4 на образце № 7. В то же время наблюдается минимальное отклонение плоскостей 1 и 2 на всех образцах.

Измерение шероховатости обработанных поверхностей

Проведено измерение шероховатости поверхностей при помощи профилометра (рис. 4). Измерение проводилось в трех областях обработанной поверхности.

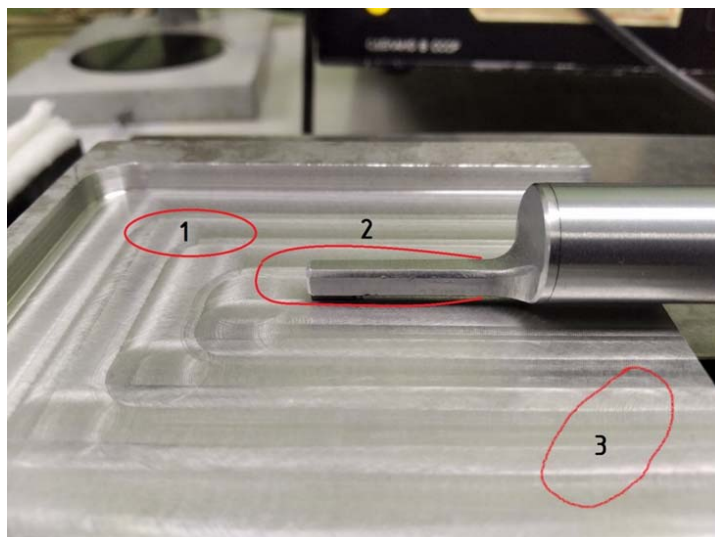


Рис. 4. Измерение шероховатости обработанных поверхностей с использованием профилометра

Средний показатель шероховатости составил Ra 0,3 кроме образцов № 4 и 9, шероховатость которых составила Ra 1,16. Область 2 на образце № 4 и область 1 на образце № 9 имеют низкую шероховатость относительно остальных образцов. Также наблюдается высокая шероховатость на образце № 6 во всех областях измерений. Образцы № 4 и 9 имеют низкий показатель плоскостности, а также имеют низкую шероховатость.

Составим в виде таблицы рекомендации для оператора станка по выбору оснастки для чистовой и черновой обработки, согласно которой оператор самостоятельно может подобрать оснастку (группа I) для чистовой обработки деталей.

Рекомендации по выбору оснастки для оператора станка с ЧПУ

Группа	I	II	III
Шероховатость, Ra	0,2...0,6	0,6...0,85	0,85...1,6
Оправка, №	5,6,8,10,11,12	1,2,3,7	4,9

Заключение

Проведен эксперимент, направленный на выявление отклонений от геометрических параметров оснастки. Составлены рекомендации для оператора станка по выбору оснастки для чистовой и черновой обработки. Определено дальнейшее направление исследовательской работы с целью конструирования оснастки с заданной точностью.

Список литературы

Федотов Р. И. Исследование податливости цилиндрических соединений инструментальных блоков // American Scientific Journal. 2019. № 32. С. 51.

Д. С. Черных, аспирант, инженер-конструктор, d_s_555@bk.ru
НОЦ ВКО «Алмаз-Антей», Москва
АО «ИЭМЗ «Купол», Ижевск

Повышение эффективности проектирования типового теплообменного оборудования

Ставится задача автоматизации процесса проектирования унифицированного теплообменника. Раскрываются основные моменты затрачиваемого времени на производственный цикл проектирования на основе анализа динамики роста объемов производства, фактического времени на разработку конструкторской документации и допускаемых конструкторских ошибок.

Ключевые слова: проектирование, теплообменник, производственный цикл, автоматизация, время проектирования.

На сегодняшний день рост объемов производства теплообменного оборудования происходит за счет развития строительства и модернизации гражданских и военных организаций, а также расширения применения теплообменного оборудования в многочисленных отраслях машиностроения, сталелитейном производстве, энергетических станциях и др.

Теплообменник – техническое устройство, в котором осуществляется бесконтактный процесс теплообмена между двумя средами, имеющими различные температуры. Он предназначен для нагрева воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Типовые теплообменники, разрабатываемые на электромеханическом заводе «Купол» (рис. 1), состоят из алюминиевых листов оребрения (ламели), медного трубопровода для тепло- или хладоносителя, стальных/медных впускного и выпускного коллекторов, каркаса теплообменника (2 балки, 2 боковины, несколько ребер жесткости) и дополнительных сборочных деталей. Параметры каркаса ($L \times B \times H$) зависят от габаритных размеров оребренной части.

В настоящее время конструкторская документация (КД) на теплообменное оборудование разрабатывается с использованием инструкции по разработке КД ТТО и в ПО «Компас» с общей прорисовкой всех узлов и деталей.

Производственный цикл проектирования теплообменника формируется из чертежа общего вида (ВО) и комплекта КД, их согласования и поставки на учет.

Чертеж ВО разрабатывается поэтапно.

1. Определение параметров каркаса по заданным габаритным размерам оребренной части.
2. Формирование структуры теплообменника с проработкой на общем чертеже.

3. Параметризация каждого элемента (материал, толщина, диаметры труб, и.т. д.).

4. Расчет технических параметров проектируемого изделия: масса, объем теплоносителя и площадь поверхности теплообмена.

5. Оформление чертежа по единой системе конструкторской документации (ЕСКД).

6. Согласование с техническим контролем и передача заказчику.

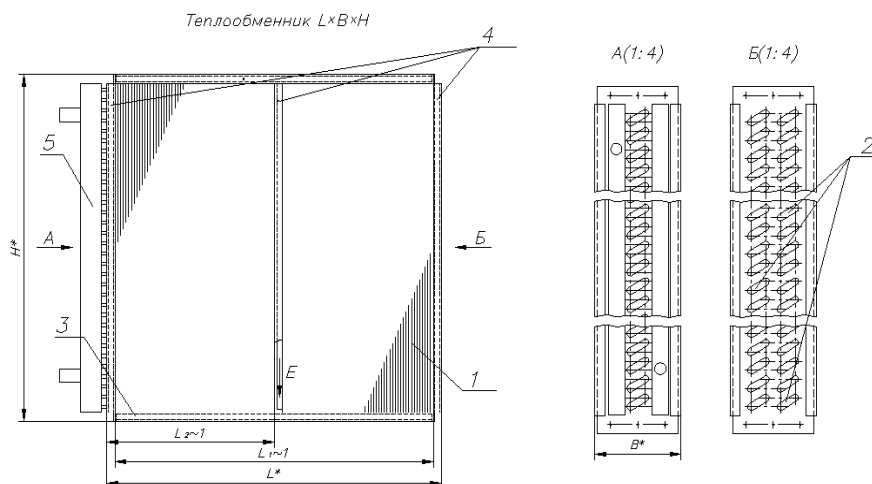


Рис. 1. Теплообменник: 1 – ламели; 2 – трубопровод; 3 – боковина каркаса; 4 – ребра жесткости каркаса; 5 – коллектор

Время, затрачиваемое конструктором на проработку каждого этапа проектирования чертежа ВО на теплообменник, указано в таблице 1 [2]. По регламенту принятия и выполнения заказов на изготовление теплообменников приказа генерального директора АО «ИЭМЗ «Купол» № 80п от 01.02.2013 г. установлен срок в 1 рабочий день (8 ч).

Таблица 1. Время затраченное на разработку чертежа ВО поэтапно, ч

Этапы разработки	№ п/п эксперимента										Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,23
2	4,5	4,4	4,7	4,6	4,4	4,5	4,6	4,4	4,7	4,3	4,51
3	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,59
4	0,6	0,8	0,8	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,71
5	1	0,8	0,8	1	0,8	1,1	0,8	1	0,8	1	0,91
6	1	1,2	1	1	1,2	0,9	1	1,1	1	1,1	1,05

На рис. 2 указана диаграмма процентного соотношения затрачиваемого времени конструктором на этапы проектирования чертежа ВО на теплообменник, составленная по таблице. Из нее видно, что формирование структуры теплообменника и прорисовка элементов занимает больше половины регламентированного времени, так как идет разработка основных звеньев теплообменника.

В первую очередь разрабатывается схема змеевиков по заданным параметрам направления потока жидкости и сетке ламелей. После рассчитывается высота калачей и перекидок, соединяющих трубы, в соответствии с ними рассчитывается ширина боковины. Затем формируется коллектор с патрубками, присоединяющимися к змеевикам.

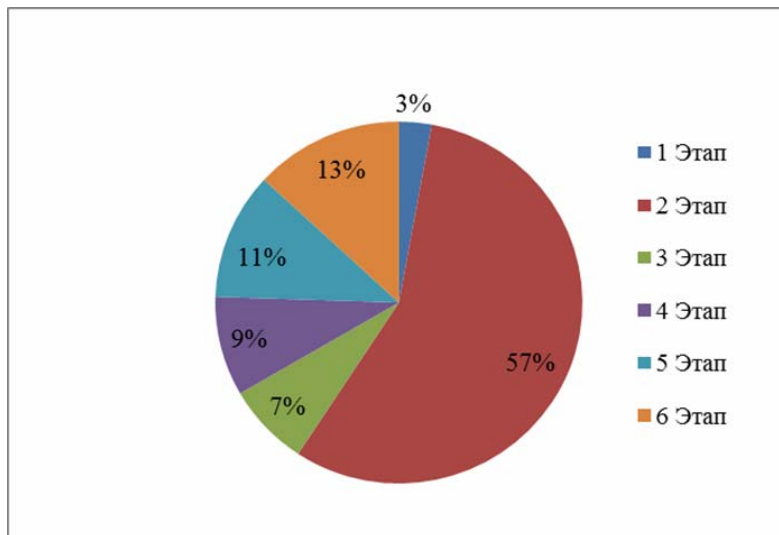


Рис. 2. Диаграмма процентного соотношения этапов проектирования чертежа ВО на теплообменник.

Следующая стадия производственного цикла в проектировании теплообменника – разработка комплекта КД. Как и чертеж ВО, комплект КД проектируется поэтапно.

1. Проводится анализ на выявление ранее разработанных элементов теплообменника.

2. Разрабатываются чертежи на оставшиеся составляющие элементы теплообменника.

3. Составляется спецификация из номенклатурного обозначения каждого элемента.

4. Разрабатывается сборочный чертеж, сопоставимый со спецификацией.

5. Чертежи оформляются по ЕСКД.

Время, затрачиваемое конструкторами на проектирование комплекта КД на теплообменник, расписано в табл. 2. По приказу № 80п АО «ИЭМЗ «Купол» от 01.02.2013 г. установлен срок в 3,5 рабочих дня (28 ч).

Таблица 2. Время, затраченное на проектирование комплекта КД поэтапно, ч

Этап разработки	№ п/п эксперимента										Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	4	4,2	3,9	4,5	3,8	4,2	4	4,2	4,1	4	4,09
2	8	10	9,5	8,9	10	8,7	9,8	9,3	10	9,4	9,36
3	5	4,2	4,7	4,8	4,5	4,8	4,4	4,2	3,8	4	4,44
4	5	4	4,8	5	4,7	5,5	5	5,2	5,8	5,5	5,05
5	6	5,6	5,1	4,8	5	4,8	4,8	5,1	4,3	5,1	5,06

Согласно данным табл. 2. на рис. 3. составлена диаграмма процентного соотношения этапов проектирования комплекта КД на теплообменник.

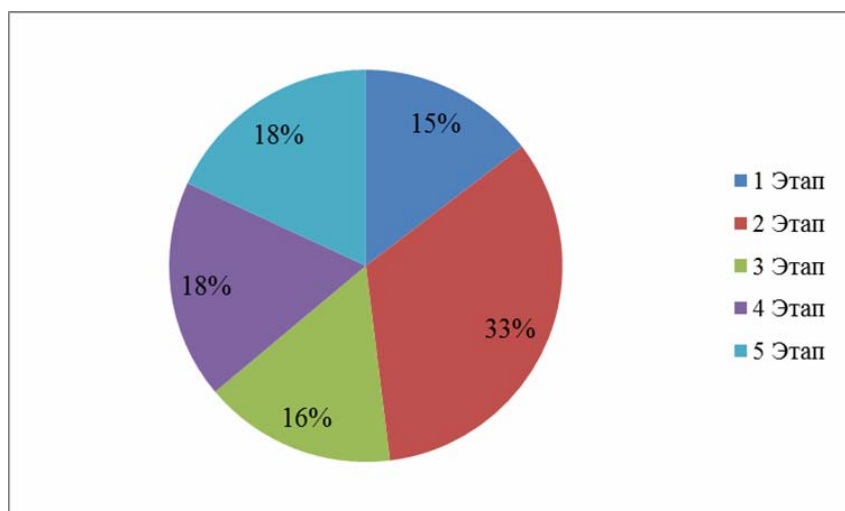


Рис. 3. Диаграмма процентного соотношения этапов проектирования комплекта КД на теплообменник

Второй этап проектирования комплекта КД занимает наибольшую часть регламентированного времени, как показано на рис. 3. По причине разработки индивидуальных чертежей на элементы теплообменника, численность которых может варьироваться от 5 до 20 шт. Причиной большого разброса количества разрабатываемых заново элементов являются заказы на проектирование единичных теплообменников. Для проведения анализа заказов теплообменного оборудования на АО «ИЭМЗ «Купол» были использованы данные 2017–2019 гг. (табл. 3).

Таблица 3. Количество заказов на теплообменное оборудование АО «ИЭМЗ «Купол» за 2017–2019 гг.

Год	Кол-во новых проектируемых изделий	Кол-во типовых проектируемых изделий	Кол-во общих заказов
2017	100	70	7800
2018	125	90	16000
2019	150	105	18960

Из графика рис. 4 отчетливо виден рост заказов на теплообменное оборудование за 3 года практически в 2,5 раза, следовательно, это отражается на времени производственного цикла проектирования.

Для сравнения годового рабочего времени и времени, необходимого для выполнения заказов по проектированию теплообменников, рассчитано: в году ≈ 260 рабочих дней, т. е. 2080 ч, из них 5 % – на больничный, 5 % – на командировки и еще 10 % – на регламентированный отпуск; в итоге остается 1664 рабочих часа в год (табл. 4).

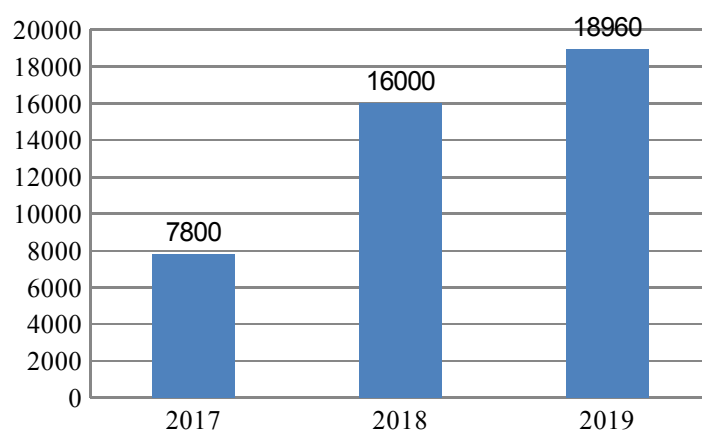


Рис. 4. График роста заказов на теплообменное оборудование АО «ИЭМЗ «Купол» за 2017–2019 гг.

Таблица 4. Соотношение регламентированного времени на производственный цикл проектирования теплообменника к фонду рабочего времени за год

Год	Среднее кол-во разработанных КД конструктором	Регламентируемое время Проектирования теплообменника	Фонд рабочего времени в год
2017	30	1680	1664
2018	41	2296	
2019	50	2800	

Из табл. 4 очевидно неравенство годового рабочего времени и регламентированного времени на производственный цикл проектирования, что непосредственно отражаются на работе конструкторов увеличением допускаемых ошибок при проектировании теплообменного оборудования и влечет за собой увеличение процента замечаний, связанных со сборкой и эксплуатацией теплообменного оборудования. Количество замечаний по комплектам КД на теплообменники из цеха указаны в табл. 5.

Таблица 5. Количество замечаний при изготовлении теплообменного оборудования в цехе АО «ИЭМЗ «Купол» за 2017–2019 гг.

	Балка	Боковина	Коллектор	Змеевик	Оформление	Остальное	Итого
2017	12	14	27	5	51	75	184
2018	25	47	98	13	75	48	306
2019	34	63	134	24	93	50	398

В результате проведения анализа данных табл. 3 и 5 виден пропорциональный рост заказов и замечаний на производственный цикл проектирования теплообменного оборудования. Следует, что необходимо уменьшать время на проектирование теплообменников и снижать количество конструкторских ошибок, влекущих за собой замечания при изготовлении теплообменников.

Самым актуальным путем решения этого вопроса является создание автоматизированного ПО этапов проектирования чертежа ВО и комплекта КД,

что позволит провести все проектные работы за одну смену – от заявки, где формируется цифробуквенный код с параметрами оребренной части, типом ламелей и направлением потока теплоносителя; затем компоновка змеевика и заложение присоединительных размеров для входного и выходного коллекторов; после – выведение готовых чертежей оформленных по ЕСКД на каждый индивидуальный элемент с присвоением номенклатурного номера для занесения в библиотеку стандартных изделий; и формирование спецификации сопоставленной со сборочным чертежом, используя номенклатурные номера элементов.

Выходные параметры автоматизированного ПО позволят уменьшить время проектирования теплообменника в 4,5 раза, исключить конструкторские ошибки по несобираемости теплообменника, а пользователем может быть менее квалифицированный работник.

Список литературы

Энкарначчо, Ж. Автоматизированное проектирование. Основные понятия и архитектура систем : пер. с англ. / Ж. Энкарначчо, Э. Шлехтендаль. М. : Радио и связь, 1986. 288 с. : ил.

Раздел 2
«ВЫСТАВКА ИННОВАЦИЙ – 2020»: ВЫСТУПЛЕНИЯ МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ ИЖГТУ имени М. Т. КАЛАШНИКОВА

УДК 621.39

К. В. Бабинцев, магистрант, kostya.babintsev@yandex.ru
В. В. Титов, магистрант; *М. А. Ламри*, аспирант; *И. А. Кайсина*, аспирант
А. В. Абилов, кандидат технических наук, доцент
ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова

Применение самоорганизующихся сетей в сценариях умного города*

В современном мире все больше систем становятся интеллектуальными. Появляется много новых различных функций в устройствах. Системы и устройства становятся более «умными» и «самостоятельными». Поэтому появляется необходимость устанавливать связи между узлами систем для управления и мониторинга. В статье приведен обзор самоорганизующихся сетей MANET, VANET и FANET. Перечисленные типы сетей могут найти множество применений в умном городе.

Ключевые слова: умный город, ad-hoc, MANET, передача данных, ретрансляция.

Введение

В настоящее время в связи с активным развитием концепций интернета вещей и умного города большое внимание стало уделяться самоорганизующимся сетям, в частности особое внимание получили мобильные сети – MANET. Они представляют собой беспроводные децентрализованные радиосети, которые состоят из множества устройств и могут устанавливать связь в произвольном порядке между собой. Узлы таких сетей могут выступать как в роли рабочей станции абонента, так и в роли ретранслятора и маршрутизатора, обеспечивая передачу пакетов данных между абонентами. Так как в таких сетях количество устройств может составлять несколько тысяч однотипных узлов, то поэтому каждое устройство обладает программными и аппаратными средствами для организации передачи данных в сети напрямую при доступности физического пути или через несколько узлов-ретрансляторов. Такая структура сети позволяет распределить нагрузку на сеть, что повышает общую пропускную способность [1, 2]. Все это приводит к большой практической пользе от применения самоорганизующихся сетей. Но на сегодняшний день мало описаны сферы применения MANET сетей в умном городе и возможные возникающие проблемы. В этой статье авторы рассмотрели наиболее значимые области применения и указали их главные недостатки.

© Бабинцев К. В., Титов В. В., Ламри М. А., Кайсина И. А., Абилов А. В., 2020

* Статья выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-29-06076).

Автомобильные сети VANET

С развитием автомобильного транспорта получила развитие и придорожная инфраструктура. Ключевой частью этой инфраструктуры стали интеллектуальные транспортные системы, обеспечивающие безопасность дорожного движения, навигацию, другие сервисы и услуги. С появлением «умных» устройств и их повсеместным внедрением, в частности в автомобили и придорожную инфраструктуру, появилось такое понятие, как VANET – автомобильная самоорганизующаяся сеть, которая возникает путем создания беспроводной сети между бортовыми компьютерами, датчиками на дороге, спутниками и прочими устройствами, для обмена данными между транспортными средствами (рис. 1) [3, 4].



Рис. 1. Сеть VANET

Большинство функций сетей MANET имеются и в сетях VANET, но главной особенностью автомобильных сетей является относительная упорядоченность движения узлов сети: транспортные средства вынуждены двигаться по определенным траекториям – дорогам; вместо хаотичного движения автомобили двигаются организованно; взаимодействие с придорожной инфраструктурой также осуществляется по определенным правилам.

Основными направлениями развития в сетях VANET являются обеспечение безопасного движения транспорта, оптимизация транспортных потоков для оптимальной загрузки дорог, своевременное оповещение людей о ситуациях, разработка и внедрение мобильных приложений и служб. Например, для безопасного движения используются электронные стоп-сигналы; для оптимального движения применяются дорожные поезда и автомобильные колонны; для оповещения водителей и пассажиров существуют информационные системы, дорожные сервисы.

Беспилотные сети FANET

Сети FANET аналогичны сетям VANET и являются одноранговыми самоорганизующимися сетями на основе беспилотных летательных аппаратов

(БПЛА). Но в отличие от автомобильных сетей беспилотные сети работают с 3D-пространством, а это вносит определенные проблемы и трудности. Для таких сетей разработаны специальные протоколы и алгоритмы маршрутизации. В сетях FANET в качестве узлов используются БПЛА, которые отличаются малыми габаритами, большой универсальностью и простотой в эксплуатации. Использование роя дронов позволяет решать множество проблем (рис. 2) [5, 6].

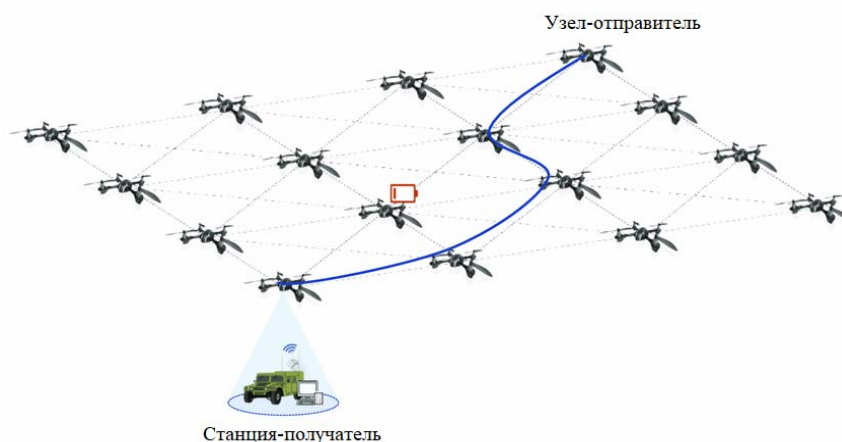


Рис. 2. Сеть FANET

Самоорганизующиеся беспилотные сети FANET применяются во многих сферах жизни человека – от исследовательских сетей до доставки товаров. Широкая сфера применения обусловлена универсальностью беспилотных летательных аппаратов – они могут выполнять различные функции; удобностью в использовании – дроны просты в настройке и управлении; экономичностью – отсутствует необходимость создавать дополнительную инфраструктуру.

Основными направлениями развития в сетях FANET являются чрезвычайные ситуации – предотвращение, быстрый поиск пострадавших, анализ ситуации; исследовательские сети – поиск объектов, проведение замеров; организация быстрой доставки данных – создание цепочки ретрансляторов; военная сфера – разведка, анализ ситуации; доставка товаров.

Взаимодействие самоорганизующихся сетей

Самоорганизующиеся сети MANET обладают некоторыми особенностями, которые отличают их от классических беспроводных сетей традиционной архитектуры.

1. Автоматическая конфигурация структуры сети при добавлении новых устройств.
2. Реконфигурация параметров узлов сети в условиях изменяющейся обстановки при изменении количества устройств, уровня помех, мощности сигнала.
3. Возможность передачи данных на любые расстояния без изменения параметров узлов сети и передатчика.
4. Динамичная топология сети, вызванная мобильностью узлов.
5. Ограниченное время использования, обусловленное малым объемом источников питания мобильных узлов.

На основании этого можно выделить одно из основных направлений применения и использования самоорганизующихся сетей MANET – использование в умном городе (рис. 3). Для транспортной сети VANET используются светофоры, камеры, сигнальные датчики, разметка. Данные с датчиков передаются в центр управления, где на основании полученной информации происходит управление транспортными потоками. Беспилотные аппараты в рамках сетей FANET применяются для определения информации в разных частях города, для быстрого реагирования. Информация с БПЛА также стекается в единый центр для обработки. Связь между всеми устройствами и информационными центрами в сетях MANET может осуществляться как напрямую между узлами, так и с помощью вышек сотовой связи.



Рис. 3. Умный город

Вышеописанная ситуация внедряется или планируется внедряться во множестве городов по всему миру. Использование сетей MANET в умном городе несет много положительных моментов: оперативно реагировать на происшествия, регулировать транспортный поток, реконфигурировать инфраструктуру города под текущую ситуацию.

Проблемы самоорганизующихся сетей

Но, несмотря на множество преимуществ использования самоорганизующихся сетей, у них есть также множество недостатков. К главным минусам относятся: необходимость хорошей помехоустойчивости, безопасность передаваемых данных, общая пропускная способность, качество обслуживания *QoS*. [7].

Необходимость в помехоустойчивости вызвана малыми габаритами устройств сети. Малые размеры подразумевают отсутствие мощной антенны для приема и передачи информации. А при наличии в современной городской среде множества других устройств и препятствий общение с нужными адресатами представляет серьезную проблему. На малые устройства не эффективно устанавливать мощные процессоры и средства безопасности, что снижает безопасность передаваемых данных и повышает вероятность перехвата данных злоумышленниками. При наличии множества устройств в сети в ситуации, когда происходит обмен данными между множеством узлов, возникает проблема не-

достаточности пропускной способности сети. Проблема качества обслуживания *QoS* связана со всеми предыдущими проблемами и представляет собой набор необходимых требований для передаваемых данных, при котором полученные данные считаются правильными и актуальными. При снижении качества обслуживания происходит потеря, искажение, добавление посторонних данных. Такая ситуация может привести к сбоям в работе всей системы и принятию неправильных решений [8, 9]. В частности выделяется проблема *congestion control* – алгоритм управления перегрузками при передаче данных в сети. Он является главным способом контроля перегрузки каналов трафика данных. Но данный алгоритм малоэффективен при кратковременных произвольных каналах связи, используемых в беспроводных мобильных сетях.

Заключение

Обобщая все вышеперечисленное, можно сделать вывод, что использование самоорганизующихся сетей в умном городе имеет как преимущества, так и недостатки. К преимуществам можно отнести увеличение эффективности транспортной системы города благодаря сетям VANET, расширение возможностей по анализу городской обстановки и уменьшению времени реагирования на различные происшествия благодаря сетям FANET. Самоорганизующиеся сети в умном городе применяются во множестве сфер: транспортной системе, для обнаружения происшествий, анализа городской ситуации, доставки товаров. Но у самоорганизующихся сетей есть и проблемы качества обслуживания *QoS*.

Таким образом, для решения существующих проблем и расширения сферы применения самоорганизующихся сетей в сценариях умного города необходимы новые алгоритмы и методы улучшения передачи информации между устройствами.

Список литературы

1. MANET URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MANET> (дата обращения: 10.04.2020).
2. Аникин, А. Обзор современных технологий беспроводной передачи данных в частотных диапазонах ISM (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) и 434/868 МГц // Беспроводные технологии. 2011. Т. 4, № 25.
3. Многофункциональная мобильная самоорганизующаяся сеть типа MANET 2,4 ГГц MCP-Сеть. URL: <http://uwbs.ru/products/manet/> (дата обращения: 10.04.2020).
4. Клименко, И. С. Обзор беспроводных транспортных сетей vanet // Современные инновации. 2018. №. 5 (27).
5. Леонов, А. В. Сети FANET / А. В., Леонов В. А. Чаплышкин // Омский научный вестник. 2015. №. 3 (143).
6. Кайсина, И. А. Сетевое кодирование в сетях FANET / И. А. Кайсина, Д. С. Васильев, А. В. Абилов // Электросвязь. 2018. №. 1. С. 64–68.
7. Дорохова, А. А. Исследование трафика и качества обслуживания в самоорганизующихся сетях на базе БПЛА / А. А. Дорохова, А. И. Парамонов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4, №. 2. С. 12–25.
8. QoS. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/QoS> (дата обращения: 10.04.2020).
9. Кайсина, И. А. Анализ эффективности протоколов маршрутизации OLSR и AODV в летающей сети FANET / И. А. Кайсина, Д. С. Васильев, А. В. Абилов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2017. Т. 20, №. 1. С. 87–90.

Батова М. Д., студент, marina.batova@mail.ru
Семенова Ю. А., студент;
Гордина А. Ф., кандидат технических наук, доцент
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Модификация вяжущих на основе сульфатов кальция тонкодисперсными минеральными добавками *

Представлены результаты исследований влияния тонкодисперсных добавок на структуру и свойства вяжущего на основе сульфата кальция. В работе использованы силикатные модификаторы, такие как диабаз и наносилика, являющиеся отходами промышленного производства. Добавки вводились в количестве от 0,05 до 0,5% от массы вяжущего. Установлено положительное влияние добавок на характеристики прочности при сжатии и изгибе гипсовых вяжущих.

Ключевые слова: строительный гипс, модификация свойств, диабаз, наносилика, повышение прочности.

Гипс является одним из экологичных и малоэнергоёмких строительных материалов, свойства которого можно направленно изменять введением модифицирующих добавок. Изменение состава гипсового вяжущего позволяет корректировать такие отрицательные свойства, как низкая прочность и водостойкость, ползучесть при увлажнении, малый период обрабатываемости смеси [1].

Для изменения свойств материалов в строительстве используются добавки различного химического состава и дисперсности. В качестве модификаторов могут применяться вещества природного и техногенного происхождения, включая измельченный двухводный гипс, керамзитовую и базальтовую пыль, микрокремнезем и др. [2, 3].

Добавки, вводимые в состав минеральных вяжущих, могут воздействовать на морфологию материала и влиять на свойства композита различными способами. Например, изменение плотности материала может быть достигнуто введением в состав наполнителей или порообразователей. С целью улучшения механических характеристик и параметров водостойкости минеральной матрицы чаще всего применяется введение в состав вяжущего активных минеральных добавок, вступающих в химическую реакцию с продуктами гидратации или выступающих в роли центров кристаллизации [4].

В ходе исследования свойств гипсовых составов было принято решение об использовании в качестве модифицирующих добавок диабаза и наносилики двух партий. В качестве вяжущего в работе использовался строительный гипс марки Г4, соответствующий ГОСТ 4013–82.

При введении тонкодисперсных модифицирующих добавок (диабаз и наносилики), ожидается повышение физико-механических характеристик гипсового камня. Ожидается, что тонкодисперсные добавки выступят в роли центров кристаллизации, что приведет к уплотнению гипсовой матрицы.

Исследования физико-механических свойств гипсовых модифицированных изделий производились по стандартным методикам на образцах-балочках размером 40×40×160 мм, испытанных в соответствии с требованиями ГОСТ 23789–79.

Для определения влияния добавок на свойства строительного гипса были подобраны следующие концентрации добавки, %: 0; 0,05; 0,1; 0,5. Водогипсовое отношение при этом составило 66 % (для диабаз) и 58 % (для наносилики).

Для определения среднего размера частиц диабаз был проведен дисперсионный анализ (рис. 1).

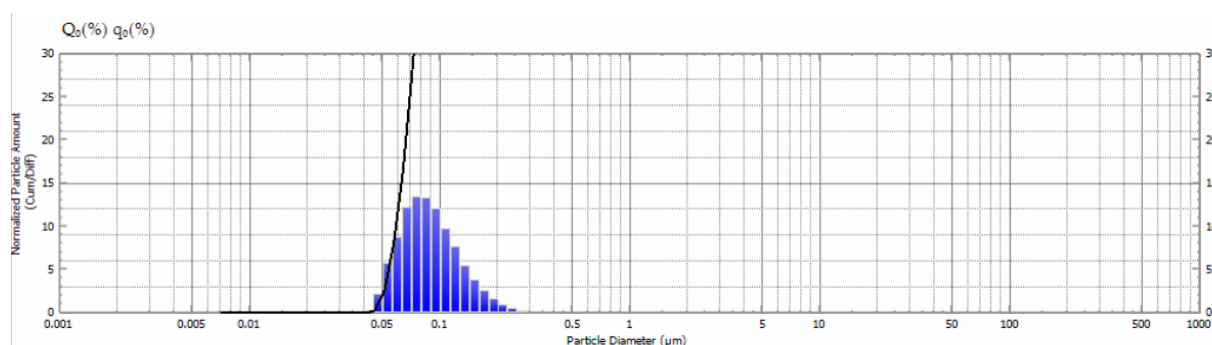


Рис. 1. Дисперсионный анализ диабаз

Для определения среднего размера частиц наносилики был проведен дисперсионный анализ (таблица).

Результаты дисперсионного анализа порошков наносилики

№ партии	Средний размер, мкм	< 50 %	< 75 %	< 95 %
1	0,031	0,031	0,044	0,075
2	0,025	0,025	0,037	0,067

На основании проведенных исследований можно отметить различие в размерах частиц используемых порошков наносилики. Более высокая удельная поверхность частиц наносилики № 2 предполагает большую активность этой добавки по сравнению с наносиликой № 1.

Определение механических характеристик образцов проводилось на седьмые сутки.

Наибольший прирост предела прочности при изгибе был получен при введении диабаз в количестве 0,1 % и составил 40 % в сравнении с контрольным образцом. Прирост предела прочности на сжатие для данного состава 19 % (рис. 2).

Для образцов, модифицированных наносиликой, наибольший прирост прочности на сжатие составил 106 % по сравнению с контрольным составом при введении 0,05 % наносилики-1. При этом прочность на изгиб повысилась на 87 % (рис. 3).

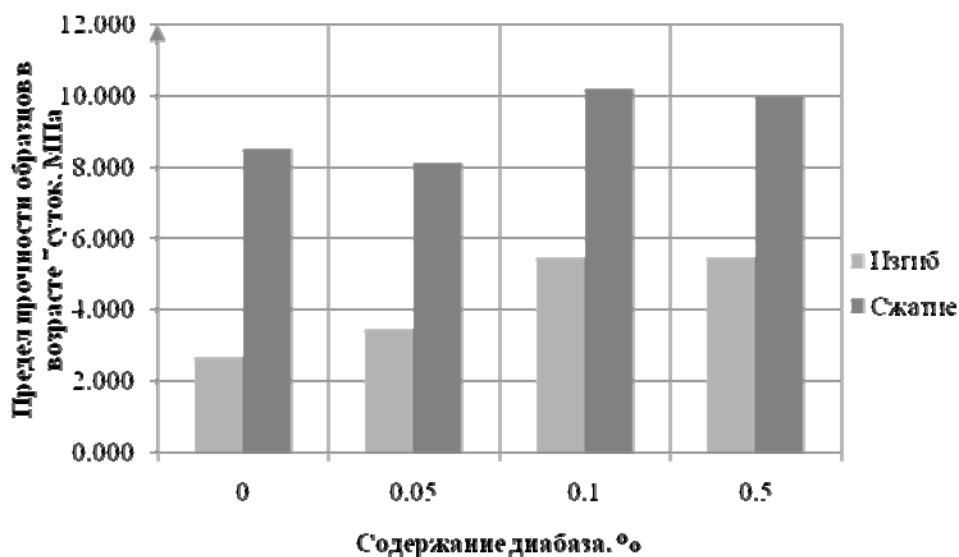


Рис. 2. Зависимость прочностных характеристик гипсового вяжущего в возрасте 7 суток от содержания добавки

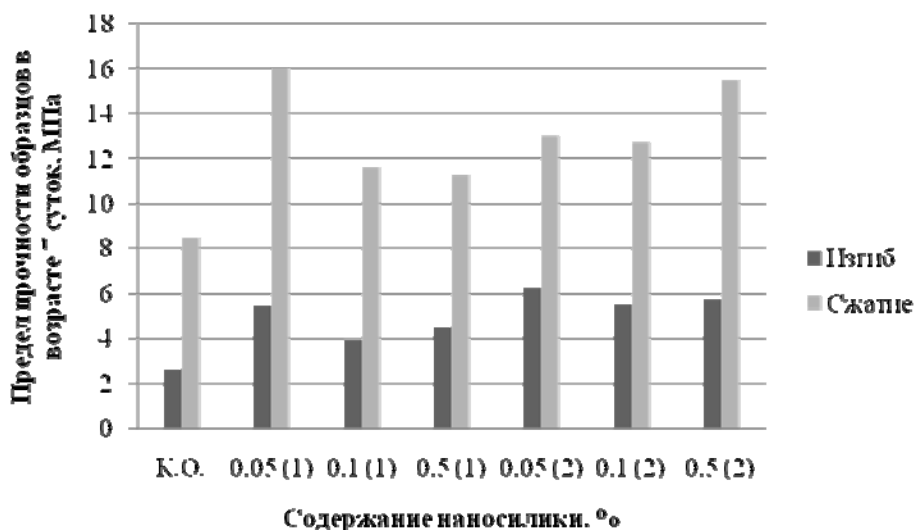


Рис. 3. Зависимость прочностных характеристик гипсового вяжущего в возрасте 7 суток от содержания добавки

Неравномерный прирост прочностных характеристик, вероятно, обусловлен высокой дисперсностью частиц наносилики. Введение модификатора в воду затворения приводит к агломерации частиц добавки и невозможности их равномерного распределения в объеме материала без введения дополнительных пластифицирующих компонентов.

Таким образом, по результатам проведенных физико-механических испытаний оптимальный состав с добавлением 0,05 % наносилики-1 оказался наиболее эффективно повышающим прочностные характеристики изделий на основе гипсового вяжущего. Прирост прочности на сжатие на седьмые сутки составляет 106 % по сравнению с контрольным составом, при этом прирост прочности на изгиб составляет 87 %.

При введении диабаза в состав гипсового вяжущего прирост прочности на сжатие на седьмые сутки составляет 20 % по сравнению с контрольным составом. Оптимальной концентрацией вводимой добавки является 0,1 %.

Повышение механических характеристик гипсовых вяжущих при введении дисперсных добавок обусловлено их высокой удельной поверхностью. Полученные результаты согласуются с данными дисперсионного анализа модификаторов.

Список литературы

1. Модификация легкого бетона на перлитовом заполнителе ультра- и нанодисперсными добавками / О. В. Изряднова, Г. И. Яковлев, Т. А. Плеханова, Л. З. Нуриева, Н. В. Хрушкова, А. Ф. Шайхалисламова // Интеллектуальные системы в производстве. 2015. № 1 (25). С. 163–167.
2. *Мункхтувшин, Д.* Опыт применения добавок микро- и наносилики из отходов кремниевого производства в бетонных технологиях / Д. Мункхтувшин, В. Б. Балабанов, К. Н. Пущенко // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7, № 3. С. 107–115.
3. Свойства гипсового вяжущего, модифицированного механоактивированным микрокремнеземом / Г. И. Яковлев, И. С. Полянских, А. Ф. Гордина, А. Ф. Бурьянов, А. Д. Игнатьева.
4. Основные научные подходы к получению высококачественных бетонов на основе минеральных вяжущих веществ / С. М. Усачев, В. Т. Перцев, Р. И. Мебония, Н. В. Мачулка // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 1 (8). С. 3–9.

Д. Т. Гильмутдинов, магистрант, damir.altair@gmail.com

П. В. Лекомцев, кандидат технических наук

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Стенд с интеллектуальной системой диагностирования и определения параметров шагового электропривода *

Предложена структура стенда с интеллектуальной системой диагностирования и определения параметров шагового электропривода. Представлены его возможности и область применения.

Ключевые слова: шаговый электропривод, измерительный стенд, измерение крутящего момента, диагностирование, электропривод.

Для эффективного управления шаговыми двигателями в последнее время применяют различные микропроцессорные системы программного управления [1]. Производители так называемых драйверов указывают максимальный ток обмотки двигателя и диапазон напряжений питания. Для получения подробных характеристик шагового электропривода конкретной пары двигатель – драйвер применяют различные испытательные стенды и нагружающие установки [2].

Одним из способов испытаний электропривода с целью определения его характеристик и/или диагностики его неисправностей можно считать нагрузочное тестирование [3]. При таком методе проверки параметры двигателя оцениваются при различных нагрузках. Среди контролируемых параметров электропривода могут выступать величина тока каждой фазы двигателя, текущая скорость вращения и угол поворота ротора, уровень вибраций, температура корпуса двигателя и др. [4, 5]. Такие испытания довольно трудоемки, поскольку требуют варьирования, как правило, в ручном режиме большого количества параметров и последующей обработки данных измерений. Применительно к конкретному шаговому электроприводу получение только лишь механической характеристики при испытании требует изменения как минимум трех факторов в широких диапазонах (напряжение питания, частота, величина дробления шага).

С целью расширения возможностей и снижения трудоемкости выполнения такого рода испытаний разработана схема стенда с интеллектуальной системой диагностирования и определения параметров шаговых электроприводов (см. рисунок). Данный стенд позволяет производить оценку таких параметров как момент, скорость вращения и угол поворота вала, уровень вибраций электродвигателя под нагрузкой, силу тока каждой фазы. Управляющая программа позволяет проводить измерения и последующую обработку данных в автоматическом режиме, то есть, к примеру, в автоматическом режиме построить механическую характеристику шагового электропривода в виде поверхности отклика.

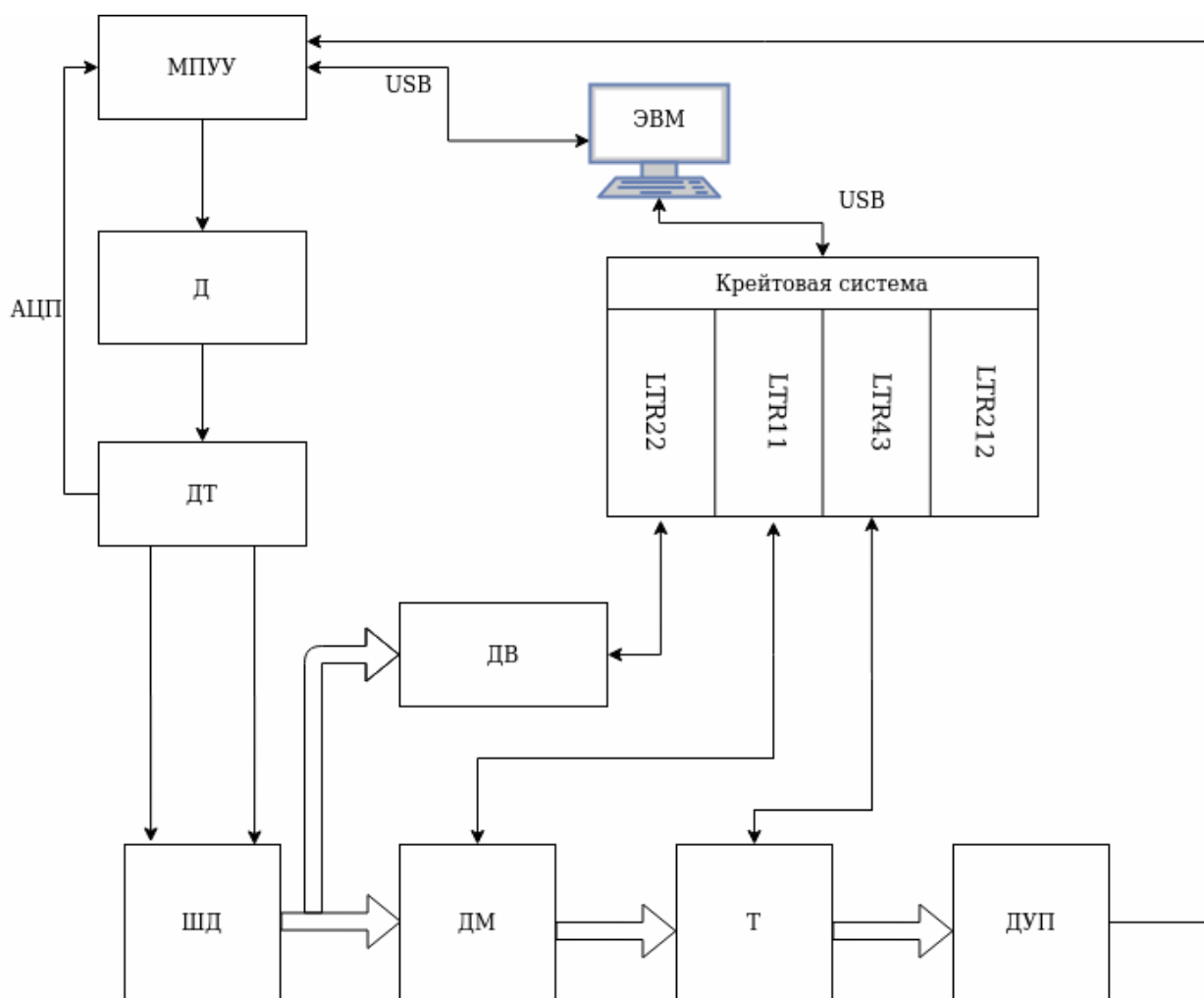


Схема стенда

Управление стендом осуществляется при помощи специализированного программного обеспечения (ПО) для персонального компьютера (ЭВМ). Данное ПО осуществляет связь между ЭВМ и микропроцессорным устройством управления (МПУ), МПУ, в свою очередь, позволяет задавать различные режимы работы ШД при помощи ШИМ-сигналов, усиленных специальным драйвером или мостовой схемой. К каждой фазе шагового двигателя подключен датчик тока, показания которого позволяют реализовать управление по обратной связи при помощи МПУ и передать на ЭВМ для дальнейшего сохранения и анализа.

К валу ШД подключен датчик момента (ДМ) [6], представляющий собой тензометрическое кольцо с беспроводной системой питания и передачи измерительных сигналов. Торможение вала шагового двигателя осуществляется при помощи тормозного устройства, управляемого крейтовой системой. Дополнительно в состав стенда включены датчик угла поворота (ДУП) и датчики вибрации (ДВ). ДУП позволяет определять момент выхода из синхронизма (пропуск шага) – одного из важнейших диагностических параметров для ШД, а также реализовывать алгоритмы замкнутых систем управления при удовлетворении МПУ требованиям реального масштаба времени. Показания ДМ и ДВ при помощи крейтовой системы передаются на ЭВМ, где производится их дальнейшее хранение и обработка.

В процессе обработки данных на ЭВМ существует возможность использования методов и алгоритмов нечеткой логики и искусственного интеллекта. Данные методы позволят в дальнейшем производить диагностирование неисправностей шагового электропривода и исследование его работы на определенных режимах.

Таким образом, данный стенд позволяет определять такие параметры неизвестного электропривода на базе ШД, как момент, резонансная частота, максимальная частота вращения ротора при заданном способе управления, а также определять его перегрузку или дефекты с использованием методов искусственного интеллекта. Схема стенда позволяет варьировать способы управления электроприводом и осуществлять сбор данных на ЭВМ путем опроса крейтовой системы.

Список литературы

1. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации. М. : Академия, 2006. 368 с.
2. ИИУС электроприводов для автоматизированного производства / В. К. Гарипов, И. И. Прокуратов, В. В. Слепцов. М. : LAP Lambert Academic Publ., 2014. 140 с.
3. *Комар, М. А.* Основы электропривода и аппараты управления. М. : Энергия, 2019. 334 с.
4. *Ларченко, А. В.* Методы идентификации дефектов щеточно-коллекторного узла и магнитной системы электрических машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2011. 25 с.
5. Контроль температуры обмоток и защита от перегрева электрических машин переменного тока / И. В. Брякин, И. В. Бочкарев, Х. Г. Багиев, К. К. Келебаев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2019. Т. 19, № 1. С. 75–84. DOI: 10.14529/power190109.
6. *Набоких, В. А.* Датчики автоматических электронных систем управления и диагностического оборудования : учеб. пособие. М. : Инфра-М; Форум, 2017. 210 с.

Анализ методик обнаружения опасных зон СВЧ-излучения в городской среде

Вопрос о воздействии высокочастотного электромагнитного излучения на организм человека остается до конца не изученным. Поэтому говорить об однозначном вреде или безопасности его нельзя. В связи с этим введены нормы и правила (СанПиН 2.2.4/2.1.8.055–96), соблюдение которых необходимо для заключения о пригодности селитебной территории для строительства по электромагнитной безопасности. Существующие методы мониторинга не позволяют проводить измерения на высоте более 20 м, а проведение регулярного контроля затруднено из-за необходимости использования подъемной техники. В статье предложены способ, позволяющий проводить мониторинг уровня СВЧ-излучения на высоте до 50 м и по периметру объекта.

Ключевые слова: электромагнитная безопасность, электромагнитное поле, мониторинг электромагнитных полей, способ мониторинга.

Введение

Количество базовых станций в последние годы сильно возросло. Их плотность установки в России на 1 квадратный километр составляет 11 единиц, а в районах с большим количеством абонентов достигает 90 единиц [1].

На тему сотовой связи существует огромное количество работ. Одни утверждают, что сотовая связь безопасна для людей, вторые – что сотовая связь, безусловно, приносит вред здоровью человека, третьи – что даже если и вредит, то в целом не нужно переживать за драгоценное здоровье и просто пользоваться благами, которые предоставляет сотовая связь. Многие из работ противоречат друг другу, усложняя вопрос о вреде или пользе сотовой связи [2]. Но факт того, что электромагнитное излучение оказывает влияние на организм человека, в частности на мозг, является неоспоримым [3].

В работе [4] приведены расчеты, которые показывают, что при одновременном использовании мобильной связи всеми абонентами на территории Москвы плотность потока энергии (ППЭ), влияющая на людей в центре Москвы, составит 7 мкВт/см^2 . Так как пользователи сотовой связи размещены неравномерно, и наибольшее скопление абонентов наблюдается в деловых центрах, то, предположив, что 500 человек расположатся на территории площадью 1000 м^2 и будут одновременно использовать сотовые телефоны (с мощностью излучения в 1 Вт), получим в центре площадки ППЭ, равную 95 мкВт/см^2 [4].

Это подтверждается исследованием, проведенным в Ижевске (Удмуртская Республика), на основании которого был составлен акт использования методики обнаружения опасных зон СВЧ-излучения в городской среде. Проводились замеры в домах и в общественном транспорте, на улицах и в скверах. Были

выявлены зоны с уровнем ППЭ, превышающим допустимый по СанПиН 2.1.2.2645–10 уровень в несколько раз [5].

Поскольку нельзя отказаться от базовых станций, то возникает потребность в детальном изучении топологии электромагнитного поля вблизи них для обеспечения условий комфортного пребывания людей в зоне облучения неионизирующего излучения.

Действующая методика контроля ЭМИ в диапазоне мобильной связи не четко регламентирует зону и периодичность контроля, а также представление его результатов. Поэтому перед началом измерений необходимо проанализировать технические данные базовых станций мобильной связи, облучающих контролируемую территорию. К этим данным относятся: частота (МГц), мощность излучения (Вт), коэффициент усиления (дБи), линейные размеры излучателя (м), волновое сопротивление антенны (Ом), ее координаты и высота расположения. Затем необходимо оценить рельеф местности, расположение и высоту застройки и выявить здания и территории повышенного риска. Полученные данные используются для расчета параметров ЭМП. Для расчета можно использовать методические указания МУК 4.3.1677–03 [6] или «программный комплекс оценки электромагнитной обстановки» (ПК АЭМО) [7]. С их помощью можно определить границы зоны контроля и выбрать точки для измерения ЭМП. Для уточнения зоны проведения контроля необходимо внести поправки, учитывающие плотность застройки и рельеф [8]:

$$R_{з.к} = K_з \sqrt{\frac{8PG\eta_{а-ф.т} \Phi_3 F^2(\varphi, \theta)}{\Pi_{п.д.у}}}, \text{ м}, \quad (1)$$

где $R_{з.к}$ – радиус зоны контроля проведения измерений ППЭ ЭМП БС, м; $K_з$ – коэффициент запаса (от 1, до 1,5); P – мощность передатчика, Вт; G – коэффициент усиления антенны; $\eta_{а-ф.т}$ – коэффициент потерь в антенно-фидерном тракте; Φ_3 – коэффициент влияния земли; $F^2(\varphi, \theta)$ – диаграмма направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях; $\Pi_{п.д.у}$ – предельно-допустимый уровень ППЭ ЭМП, мкВт/см².

По результатам измерений принимаются меры по ограничению воздействия ЭМП базовых станций на население.

Часто возникает ситуация, когда доступ к местам проведения замеров затруднен. Это могут быть санитарные территории, прилегающие к базовым станциям, фасады и крыши многоэтажных зданий и строительные площадки. Зачастую под облучение БС в городской среде попадают верхние этажи, расположенные на высоте 20...50 м.

После установки новых БС требуется проведение повторных измерений уровня ЭМИ на прилегающей территории и у фасада домов. Для доступа к месту контроля СВЧ-излучения на уровне второго этажа и выше на данный момент используется строительная подъемная техника. Ее использование является затратным по времени и средствам, может производить большое количество шума и выхлопных газов. Поэтому существует необходимость разработки методов

проведения мониторинга СВЧ-излучения в городской среде, которые позволят уменьшить трудозатраты и негативное влияние на среду, сделают доступным мониторинг в тех местах, где нет возможности использовать строительную технику.

Анализ методов мониторинга СВЧ-излучения в городской среде

Для мониторинга ЭМИ на этих высотах мы предлагаем использовать квадрокоптеры и метеозонды.

Для измерения ЭМП на месте, где планируется строительство многоэтажного здания, подходят метеозонды. Они уже давно используются для проведения метеорологических исследований верхних слоев атмосферы. Этот способ не требует использования подъемного крана и снижает риск получения травм персоналом.

Для достижения положительной плавучести метеозонда используется водород или гелий. С учетом веса шара (100 г) и измерительного оборудования (320 г) потребуется 0,45 м³ гелия или 0,41 м³ водорода. Заправленного баллона с гелием (40 л) хватит на 65 запусков, и обойдутся они в 12000 руб. Баллона с водородом (40 л) хватит на 83 запуска, а затраты на заправку составят 1800 руб. Купить заправленный баллон с водородом можно в розничной продаже. Его хранение не представляет никакой опасности, а при утечке взрывоопасная концентрация в 4 % может быть достигнута только в небольших помещениях.

В качестве измерителя параметров электромагнитного поля удобно использовать ПЗ-34 [9]. Он имеет в комплекте 3 антенных преобразователя (АП) и блок индикации. Данные передаются по беспроводной связи, дальность которой 40...50 м. Это позволит установить АП на метеозонд и проводить мониторинг с земли.

Для проведения измерений у фасадов домов, на крышах и рядом с БС предлагаем использовать квадрокоптер. Дистанционный мониторинг с их использованием делает возможным отказаться от традиционных методов проведения контроля, когда оператору нужно находиться непосредственно в месте контроля, что в некоторых случаях несет риск здоровью. В отличие от метеозонда квадрокоптер позволяет проводить мониторинг ЭМИ на крыше здания, что позволяет оценить риск проживания на верхнем этаже. Точное позиционирование и компенсация воздействия ветра позволяют точно установить зону, в которой превышен уровень ЭМИ, а возможность задания траектории полета позволяет проводить измерение в одиночку. Современные квадрокоптеры из среднего ценового диапазона способны поднимать груз до 600 г, чего достаточно для установки измерительного оборудования, например, беспроводной антенны АПЗ-34 (320 г), которая по беспроводному соединению Bluetooth отправляет данные на прибор индикации.

Вывод

Методика мониторинга СВЧ-излучения с использованием квадрокоптера предполагает наличие беспроводной измерительной антенны, а также наличие в квадрокоптере датчика высоты и возможности получения координат в горизонтальной плоскости. Команда на отправку данных с измерительной антенны

должна быть синхронизирована с командой на получение координат летательного аппарата.

Методика мониторинга СВЧ-излучения с использованием метеозонда требует использования бобины с прибором для отсчета количества оборотов и лески длиной до 60 м или подготовленной лески, на которой будут крепиться с заданным шагом маркеры. Также потребуется беспроводная измерительная антенна и прибор индикации. Минимальный диаметр метеозонда, необходимого для подъема измерительной антенны, составляет 1 м. Для запуска подходит как гелий, так и водород.

Список литературы

1. Визуализация распределения плотности потока энергии в заднем полупространстве зеркальной антенны с круглой апертурой системы подвижной связи / М. Ю. Звездина, Ю. А. Шокова, А. В. Шоков, М. А. Андронов // *Theoretical & Applied Science*. 2015. № 8. С. 56–64.
2. Черных, С. В. Анализ влияния микроволнового излучения сотовой связи на человека // *НБИ технологии*. 2018. Т. 12, № 3. С. 37–47.
3. Nora D Volkow, Dardo Tomasi, Gene-Jack Wang, Paul Vaska, Joanna S Fowler, Frank Telang, David Alexoff, Jean Logan. Effects of Cell Phone Radiofrequency Signal Exposure on Brain Glucose Metabolism. *JAMA*, 2011, vol. 305, no. 8, pp. 808-813.
4. Баранов, Н. Н. Экологические проблемы сотовой связи в России / Н. Н. Баранов, И. И. Климовский // *Альтернативная энергетика и экология*. 2007. № 4. С. 163–173.
5. СанПиН 2.1.2.2645–10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях.
6. МУК 4.3.1677–03. Определение уровней электромагнитного поля, создаваемого излучающими техническими средствами телевидения, ЧМ радиовещания и базовых станций сухопутной подвижной радиосвязи : метод. указания. М., 2003. 27 с.
7. Программный комплекс анализа электромагнитной обстановки «ПК АЭМО». URL: <http://ркаето.ru/> (дата обращения: 05.04.2020).
8. Гутник, В. С. Контроль электромагнитного излучения базовых станций мобильной связи / В. С. Гутник, С. А. Гутник, А. П. Буденный // *Проблемы современной науки и образования*. 2016. С. 32–36.
9. Приборостроительная компания «НТМ-Защита» // Измеритель параметров электромагнитного поля ПЗ-34. URL: <https://ntm.ru/products/44/8358> (дата обращения: 05.04.2020).

К. С. Ефремов, аспирант, efremofk@yandex.ru
В. А. Шестаков, аспирант, slafik9526@mail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Исследование базовых маневров движения многозвенных колесных роботов*

Представлены результаты экспериментальных исследований движения мобильного колесного робота с пассивным прицепом для управляющих воздействий, полученных из кинематической модели движения. Рассмотрены базовые маневры движения многозвенного мобильного робота: движение вперед – назад вдоль прямой и окружности при различных положениях прицепа. В дальнейшем полученные результаты планируется использовать для построения маневров парковки, объезда препятствия с учетом положения прицепа.

Ключевые слова: мобильный колесный робот, эластики Эйлера, многозвенный колесный робот, оптимальные траектории, эксперимент.

Введение

Актуальность работы определяется широкой областью применения многозвенных транспортных средств, необходимостью движения в стесненных городских условиях и часто с движущимися препятствиями. Сложность задачи заключается в отсутствии однозначного простого решения для модели робота с прицепом при движении назад, позволяющего обойти эффект «складывания» прицепа, учитывающего ограничения на скорость мобильного робота, погрешности изготовления. Предлагаются варианты решения таких задач, как планирование пути без препятствий [1–5], с препятствиями [8], следования по траектории [5], движения задним ходом [4] и с прицепом спереди [3]. В данной работе предлагается применять в качестве управляющих траекторий для многозвенного колесного мобильного робота эластики Эйлера [9] в виде отрезков прямых и окружностей. Эластики Эйлера обеспечивают оптимальность по управляющему воздействию.

Описание прототипа многозвенного мобильного робота

Мобильный робот представляет собой унифицированную колесную платформу с одной ведущей осью из двух независимых колес, приводимых во вращение шаговыми двигателями, и одной свободновращающейся шариковой опорой. В качестве датчиков обратной связи для системы управления применены оптические инкрементальные энкодеры с разрешением 2000 импульсов на оборот, установленные на осях вращения колес. Прицеп к мобильному роботу имеет схожие с роботом габариты, но колеса прицепа не имеют приводов и датчиков обратной связи.

Прототип мобильного многозвенного колесного робота и кинематическая схема приведены на рис. 1.

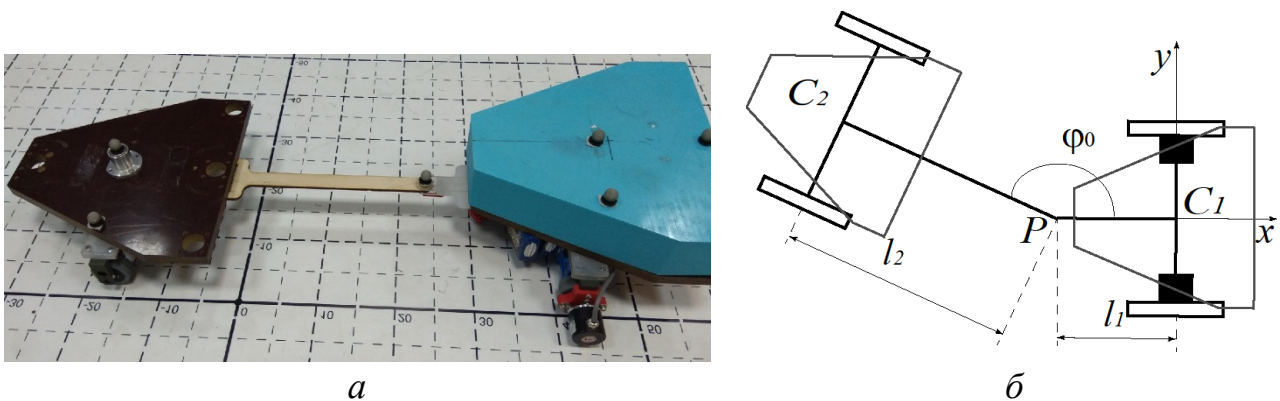


Рис. 1. Прототип мобильного колесного робота (а); Кинематическая схема (б)

На рис. 1, б C_1 и C_2 – центры колесных пар ведущего робота и прицепа соответственно; P – точка соединения прицепа к роботу; φ_0 – положительный угол от продольной оси мобильного робота до продольной оси прицепа; l_1 , l_2 – расстояния от точки P до центров осей для мобильного робота и прицепа соответственно.

Управление в рамках кинематической модели

Кинематическая модель мобильного колесного робота описывается следующими кинематическими соотношениями:

$$\begin{cases} x'(t) = v(t) \cos \theta(t), \\ y'(t) = v(t) \sin \theta(t), \\ \theta'(t) = \omega(t), \end{cases}$$

где t – параметр времени; $x'(t), y'(t)$ – перемещение центра колесной пары мобильного робота (C_1) на плоскости $(x, y) \in R^2$ за время t ; $\theta'(t)$ – смена угла ориентации колес за время t ; $\omega(t)$ – угловая скорость; $v(t)$ – линейная скорость мобильного робота.

Переход от траектории движения мобильного робота к угловым скоростям приводных колес (управляющим воздействиям) мобильного робота описывается следующими соотношениями:

$$\omega_l(t) = \frac{v(t) - l\omega(t) / 2}{r_l}; \quad \omega_r(t) = \frac{v(t) + l\omega(t) / 2}{r_r},$$

где l – расстояние между центрами приводных колес; r_r, r_l – радиусы правого и левого колес соответственно.

Как и в работе [10], движение вдоль траектории разделено на 3 части, которые в общем случае могут быть не равными. Начальную 1/3 часть траектории робот разгоняется с нулевой до максимальной стабильной скорости, а в конечной 1/3 части траектории – замедляется до нулевой скорости. Среднюю 1/3

часть траектории робот движется с постоянной максимальной скоростью. Типовой график зависимости скорости движения мобильного робота от времени приведен на рис. 2.

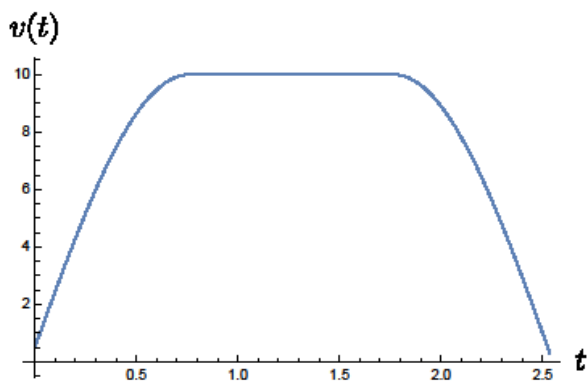


Рис. 2. График зависимости скорости мобильного робота от времени

Переходы скоростей между частями траектории на рис. 2 осуществляются плавно для минимизации влияния инерции двигателей приводов на динамику движения робота. Влияние погрешностей изготовления и скоростей мобильного робота рассмотрено в работе [10].

Проведение экспериментов

В рамках кинематической модели сформировано управление для траекторий в виде прямой линии длиной 1 м и окружностей радиусами 0,3405 и 0,4 м. Робот движется с прицепом вдоль указанной траектории от места старта до места остановки, останавливается, далее движется задним ходом по той же траектории с места остановки до места старта. Для движения вдоль прямой проведены 2 эксперимента с прицепом под разными начальными углами – $\varphi_0 = 90^\circ$ и $\varphi_0 = 270^\circ$. Для экспериментов по окружностям прицеп в начальной точке размещен под углом 90° . Типовые результаты натуральных экспериментов приведены на рис. 3.

На рис. 3, а – 3, г приведены траектории движения мобильного колесного робота, восстановленные системой захвата VICON [11], с натуральных экспериментов. Сплошной линией восстановлена траектория движения мобильного робота, пунктирной – прицепа. Начало системы координат связано с центром приводной оси мобильного робота. При движении тягача вдоль прямой длиной 1 м и обратно прицеп вернулся в точку старта с отклонением 0,003 м. При движении тягача вдоль окружностей разных диаметров отклонения составили 0,05 м для окружности диаметром 0,34 м и 0,1 м для окружности 0,4 м. При проведении эксперимента по движению вдоль окружности, диаметром 0,63 м прицеп «сложился». Это происходит из-за эффекта «складывания», возникающего при движении многосвязных роботов задним ходом.

Полученные результаты экспериментальных исследований движения мобильного колесного робота с прицепом при различных его положениях в рамках кинематической модели с учетом плавных разгонов и замедлений демонстрируют хорошую согласованность с результатами теоретического моделирова-

ния и позволяют без учета динамики использовать полученные управления маневров парковки и объезда препятствий.

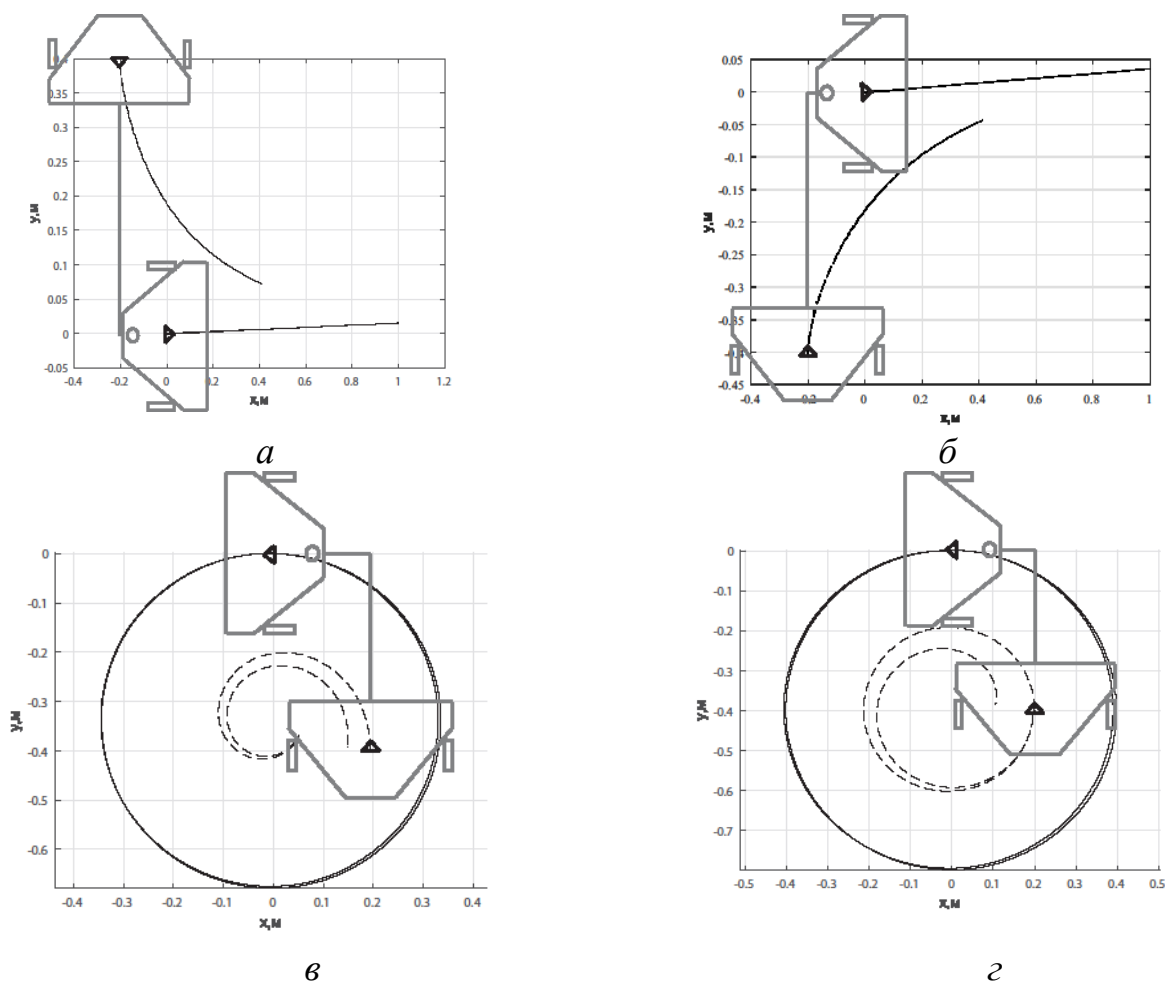


Рис. 3. Траектории движения мобильного робота с прицепом. (сплошная линия – траектория движения мобильного робота, пунктирная – прицепа): а – прямая линия 2 м, $\varphi_0 = 90^\circ$; б – прямая линия 2 м, $\varphi_0 = 270^\circ$; в – окружность 0,3405 м, $\varphi_0 = 90^\circ$; г – окружность 0,4 м, $\varphi_0 = 90^\circ$

В дальнейшем данные маневры планируется использовать для обучения искусственной нейронной сети по аналогии с работой [12].

Список литературы

1. *Tilbury D., Murray R.M., Sastry S.S.* Trajectory generation for the n-trailer problem using Goursat normal form. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1995, 40, 802-819.
2. *Rouchon P., Fliess M., Lévine J., Martin P.* Flatness, motion planning and trailer systems. Proc. of 32nd IEEE Conference on Decision and Control 1993, December, pp. 2700-2705. IEEE.
3. *Michalek M.M., Pazderski D.* Forward tracking of complex trajectories with non-Standard N-Trailers of non-minimum-phase kinematics avoiding a jackknife effect. *International J. of Control*, 2019, 92, 2547-2560.
4. *Ljungqvist O., Axehill D., Helmersson A.* Path following control for a reversing general 2-trailer system. Proc. of 55th Conference on Decision and Control (CDC) (2016, December, pp. 2455-2461). IEEE.

5. *Ljungqvist O., Evestedt N., Cirillo M., Axehill D., Holmer O.* Lattice-based motion planning for a general 2-trailer system. In 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (2017, June, pp. 819-824). IEEE.
6. *Kural K., Hatzidimitris P., van de Wouw N., Besselink I., Nijmeijer H.* Active trailer steering control for high-capacity vehicle combinations. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2017, 2, 251-265.
7. *Werling M., Reinisch P., Heidingsfeld M., Gresser K.* Reversing the general one-trailer system: Asymptotic curvature stabilization and path tracking. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 2013, 15, 627-636.
8. *Ghilardelli F., Lini G., Piazzoli A.* Path Generation Using η^4 Splines for a Truck and Trailer Vehicle. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2013, 11, 187-203.
9. *Sachkov Y.L.* Maxwell strata in the Euler elastic problem. *J. of Dynamical and Control Systems*, 2008, vol. 14, no. 2, pp. 169-234.
10. *Ardentov A.A., Karavaev Y.L., Yefremov K.S.* Euler Elastics for Optimal Control of the Motion of Mobile Wheeled Robots: the Problem of Experimental Realization. *Regular and Chaotic Dynamics*, 2019, vol. 24, no. 3, pp. 312-328.
11. *Кулин А. А., Караваяев Ю. Л.* Кинематическая модель управления сферороботом с неуравновешенной омниколесной платформой // Нелинейная динамика. 2014. Т. 10, № 4. С. 497–511.
12. *Bozek P., Karavaev Y.L., Ardentov A.A., Yefremov E.S.* Neural network control of a wheeled mobile robot based on optimal trajectories. *International J. of Advanced Robotic Systems*, 2020. DOI: 10.1177/1729881420916077.

А. В. Желтышев, старший преподаватель, avg.13@mail.ru
Д. Г. Шлыков, студент, rasahduss@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Разработка метода определения высокочастотных параметров воздушной линии с изолированной нейтралью

Короткие замыкания в электрических сетях с изолированной нейтралью. Применение принципов высокочастотной связи по проводам линий электропередач. Определение волновых параметров волновых каналов линий электропередач модальным методом.

Ключевые слова: сети с изолированной нейтралью, высокочастотная связь, волновые каналы, линии электропередач.

Введение

В линиях электропередач, эксплуатируемых с изолированной нейтралью, однофазные замыкания на землю составляют до 80 % от всех повреждений. Однако ввиду специфики устройства и работы таких линий электропередач определить точное место повреждения или хотя бы участок, на котором оно произошло, проблематично.

В [1] описан переходный процесс, возникающий при образовании однофазного короткого замыкания на землю в описанных линиях электропередач. Также в [1] поставлена задача – на основе системы знаний о принципах работы высокочастотных каналов связи по линиям электропередач разработать систему определения места повреждения на линии при однофазном коротком замыкании, и представлена функциональная схема данной системы.

Для решения задачи необходимо обеспечить передачу высокочастотного сигнала по проводам линии электропередач, а также прием этого сигнала наиболее удаленным автономным датчиком, который установлен на этой линии. При этом принимаемый датчиком сигнал должен иметь достаточный уровень, чтобы обеспечить срабатывание датчика. Для этого необходимо определить потери мощности сигнала при его прохождении по проводам линии.

Поскольку линии электропередач, по которым предполагается передавать сигнал, имеют значительную протяженность, их необходимо рассматривать как линии с распределенными параметрами.

Основная часть

Определение волновых параметров линий электропередач осуществляется с помощью решения телеграфных уравнений. Поскольку рассматриваемые линии электропередач могут состоять из 1, 2 или 3 проводов, то для решения телеграфных уравнений удобно применить методы матричной алгебры:

$$-\frac{d}{dx} \mathbf{U} = \mathbf{Z}\mathbf{I}, \quad -\frac{d}{dx} \mathbf{I} = \mathbf{Y}\mathbf{U} \quad (1),$$

где \mathbf{U}, \mathbf{I} – столбцовые матрицы напряжений и токов; \mathbf{Z}, \mathbf{Y} – матрицы волновых сопротивлений и проводимостей.

В современной системе знаний о высокочастотных проводах по линиям электропередач доказано существование волновых каналов (мод). Волновой канал (мода) – это форма распространения электромагнитной волны вдоль многопроводной линии, характеризуемая определенной формой электромагнитного поля и связанной с ней системой токов и напряжений, распространяющихся вдоль линии с одним коэффициентом распространения [2].

Каждому волновому каналу соответствует своя система волновых сопротивлений проводов, и каждый волновой канал характеризуется своим коэффициентом распространения волн в линии (1):

$$\gamma_{(s)} = \alpha_{(s)} + j\beta_{(s)}, \quad (2)$$

где $\alpha_{(s)}$ – коэффициент затухания s -го волнового канала; $\beta_{(s)}$ – коэффициент фазы s -го волнового канала.

В [2] проведено определение параметров систем из 1, 2 и 3 проводников в воздухе через уравнения Максвелла, в ходе которого доказано, что полные токи в проводах можно получить только из граничных условий на концах линии, однако параметры, характеризующие распространение токов вдоль линии, можно определить независимо от граничных условий.

Для решения задачи определения параметров волновых каналов необходимо рассчитать квадратную симметричную матрицу погонных сопротивлений линии (2), погонных проводимостей линии (3), диагональную матрицу коэффициентов распространения волновых каналов данной линии, а также диагональную матрицу волновых сопротивлений линии.

$$\mathbf{Z} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi}(\mathbf{N} + \mathbf{F} + \mathbf{M}); \quad (3)$$

$$\mathbf{Y} = 2\pi\varepsilon_0 j\omega\mathbf{N}^{-1}, \quad (4)$$

где \mathbf{M} – диагональная матрица, характеризующая собственные внутренние сопротивления проводов; \mathbf{N} – квадратная симметричная матрица, характеризующая внешние собственные и взаимные индуктивные сопротивления проводов при идеальной проводимости земли; \mathbf{F} – квадратная симметричная матрица, характеризующая дополнительные внешние собственные и взаимные индуктивные сопротивления проводов, возникшие из-за конечной проводимости земли.

Элементы матрицы \mathbf{M} определяются из выражений:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} M_{11} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & M_{nn} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$M_{ik} = \frac{2\pi}{j\omega\mu_0} Z_{ik \text{ inner}}, \quad (6)$$

где $Z_{ik\ inner}$ – внутреннее сопротивление проводов, которое на частотах выше 30 кГц определяется по формуле

$$Z_{ik\ inner} = \frac{2\pi}{j\omega\mu_0} \frac{1+j}{2\pi r_{ik}} \sqrt{\frac{\omega\mu_1\rho_1}{2}}. \quad (7)$$

Если провода имеют сложную многопроволочную структуру, свивку по вивов, то это приводит к увеличению внутреннего сопротивления по сравнению с проводом в виде гладкого алюминиевого цилиндра. Это учитывается домножением $Z_{ik\ inner}$ на k_c – коэффициент скрутки. В рамках данной статьи провода считаются выполненными в виде гладкого алюминиевого цилиндра, следовательно, k_c принимается равным единице.

Элементы матрицы \mathbf{N} определяются из расположения проводов на опоре с применением метода электрических изображений (рис. 1.) по формулам

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} N_{11} & \cdots & N_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ N_{n1} & \cdots & M_{nn} \end{pmatrix}; \quad (8)$$

$$N_{ii} = \ln \frac{2h_i}{r_i}, \quad N_{ik} = \ln \frac{r'_{ik}}{r_{ik}}; \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} r_{ii} &= r_i, \quad r'_i \approx 2h_i \\ r_{ik} &= \sqrt{(h_i - h_k)^2 + (b_i - b_k)^2} \\ r'_{ik} &= \sqrt{(h_i + h_k)^2 + (b_i - b_k)^2} \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

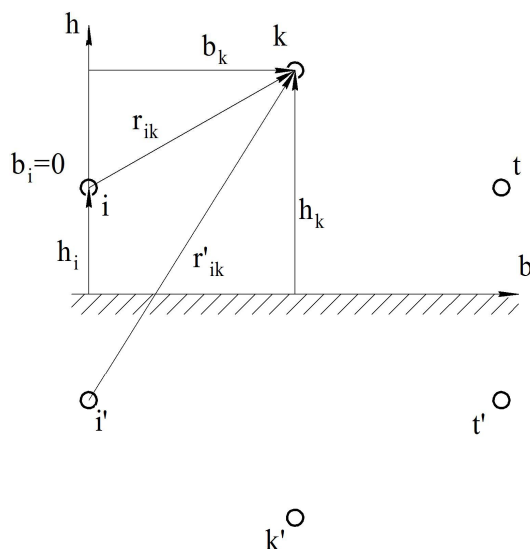


Рис.1. Схема расположения проводов на линии электропередач с применённым методом электрических изображений: i, k, t – провода исследуемой линии; i', k', t' – электрические изображения этих проводов относительно поверхности земли; h и b – координатные оси, характеризующие положение проводов и их изображений в пространстве; r_{ik} – расстояние между i -м и k -м проводом; r'_{ik} – расстояние между i -м изображением и k -м проводом; r_i – радиус i -го провода

Матрица \mathbf{F} формируется из элементов, рассчитанных при пренебрежении диэлектрической восприимчивостью землю через интеграл Карсона:

$$F_{ik} = -2j \cdot J(r, \theta), \quad (11)$$

где r, θ – его параметры, определяемые по формулам

$$r = r'_{ik} \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{\rho_3}}; \theta = \arctg \frac{|b_i - b_k|}{h_i - h_k}. \quad (12)$$

Величины b_i, b_k, h_i, h_k определяются по схеме на рис. 1.

Для определения элементов матрицы \mathbf{F} можно в зависимости от значений параметров прибегнуть к формуле разложения в ряд функций Бесселя и Струве или к асимптотическому разложению функции Струве. Однако проще обратиться к рассчитанным таблицам интегралов Карсона для широкого диапазона параметров [3].

Решение матричных телеграфных уравнений (1) удобно производить методом волновых каналов (модальным методом) ввиду его наглядности. Суть его сводится к определению матриц собственных векторов λ и δ , которые по сути являются матрицами соотношений напряжений и токов волновых каналов в проводах с дальнейшим решением уравнения вида

$$\lambda^{-1} \mathbf{P} \lambda = \gamma^2 \text{ или } \delta^{-1} \mathbf{P} \delta = \gamma^2, \quad (13)$$

где $\mathbf{P} = \mathbf{Z}\mathbf{Y}$, а γ^2 – диагональная матрица собственных значений, являющихся погонными коэффициентами распространения.

Для наглядности решения желательно нормировать матрицы λ и δ относительно членов какой-либо базисной строки. Это можно сделать, если все члены базисной строки не равны нулю. Обычно за базисную принимается первая строка. При такой нормировке все члены каждого столбца матрицы делятся на член 1-й строки этого столбца. В этом случае все члены 1-й строки матриц станут равными единице, а остальные члены λ_{ks} и δ_{ks} будут соответствовать отношению напряжений или токов k -го и 1-го проводов для s -го волнового канала.

Осталось рассчитать диагональную матрицу погонных волновых сопротивлений линии \mathbf{Z}_B . Это выполняется по формулам

$$\mathbf{Z}_B = \gamma \lambda^{-1} \mathbf{Y}^{-1} \delta = \lambda^{-1} \mathbf{Y}^{-1} \delta \gamma = \lambda^{-1} \mathbf{Z} \delta \gamma^{-1}. \quad (14)$$

Для наглядности можно привести матрицу \mathbf{Z}_B к такому виду, чтобы сопротивление k -го провода для s -го волнового канала находилось на пересечении k -й строки и s -го столбца:

$$\mathbf{Z}_{Bk} = (\lambda / \delta) \mathbf{Z}_B, \quad (15)$$

где (λ / δ) – почленное деление элементов матриц λ и δ

Рассчитанные величины представляют собой погонные параметры волновых каналов. С их помощью можно рассчитать параметры волнового канала любой длины.

Заключение

На основе имеющихся знаний о волновых процессах и распространении электрических колебаний в проводах линий высокого напряжения обоснована целесообразность применения модального метода расчета параметров высокочастотных каналов для расчета параметров высокочастотных каналов линий электропередач с изолированной нейтралью.

Список литературы

1. *Желтышев, А. В.* Повышение эффективности поиска мест повреждений на воздушных линиях в сетях с изолированной нейтралью / А. В. Желтышев, Д. Г. Шлыков // Приборостроение в XXI веке – 2019. Интеграция науки, образования и производства : сб. материалов XV Всерос. науч.-техн. конф. (Ижевск, 20–22 нояб. 2019 г.). Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2019. С. 37–41.
2. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения / М. В. Костенко [и др.]. М. : Энергия, 1973. 272 с. : ил.
3. *Перельман, Л. С.* Таблицы интегралов Карсона для использования в расчетах волновых процессов в линиях с учетом земли. Известия НИИПТ, 1965.

Н. А. Золотарев, магистрант, Zolotarev.9@mail.ru
Э. В. Алиев, кандидат технических наук, доцент, kompetencii@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Устранение цементитной сетки в инструментальных сталях посредством проведения термоциклической обработки

Инструментальные стали в настоящее время применяются при изготовлении практически всех видов режущего инструмента. Это обусловлено удачным сочетанием физико-химических, технологических и эксплуатационных свойств заэвтектоидных сталей. В связи с повышающимися требованиями к производительности металлорежущего инструмента машиностроительные предприятия формулируют все более жесткие требования к качеству металлопродукции из инструментальных марок стали. При этом необходимо уложиться в условия эффективной эксплуатации специального высокотехнологичного оборудования. Разработан режим термоциклической обработки сталей, позволяющий выполнить эти требования. Также разработанный режим был опробован в промышленных термических печах.

Ключевые слова: инструментальные стали, термическая обработка, карбидная сетка, термоциклическая обработка, микроструктура.

Присутствие карбидной сетки в структуре инструментальной стали резко снижает механическую прочность металла, особенно при динамических нагрузках.

Карбидная сетка образуется по границам аустенитных зерен при медленном охлаждении после горячей пластической деформации заэвтектоидных сталей в интервале температур 700...750 °С. При производстве горячего проката не всегда удается обеспечить достаточную для подавления образования цементитной сетки скорость охлаждения проката. Выделившиеся по границам зерен карбиды сохраняют свое положение при последующих смягчающей термообработке и холодном переделе. Это существенно ограничивает запас пластичности металла и затрудняет процесс волочения.

На основе исследования закономерностей фазовых и структурных превращений в области температур выделения и коагуляции карбидной фазы показана принципиальная возможность управления морфологией и распределением эвтектических карбидов посредством проведения специальной термоциклической обработки (ТЦО) в диапазоне относительно невысоких температур отжига [1]. Тем самым можно существенно повысить уровень технологической пластичности заэвтектоидных сталей [2].

Был разработан и внедрен в производство режим термоциклической обработки, устраняющий цементитную сетку в инструментальной нелегированной стали.

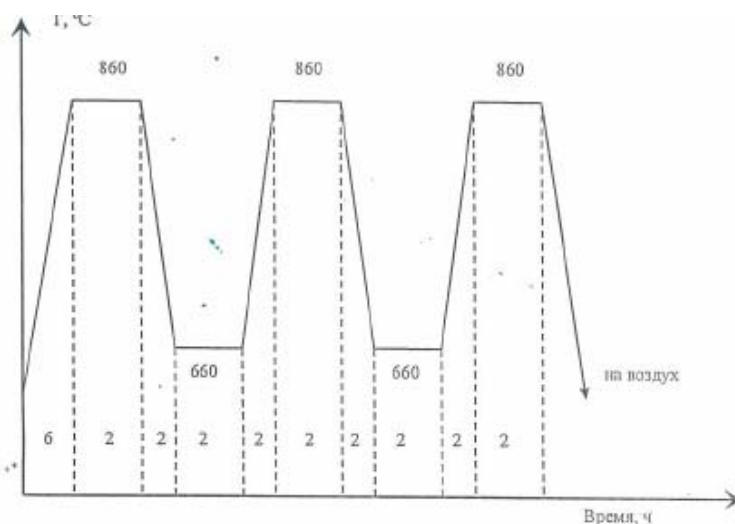


Рис. 1. Режим термоциклической обработки для сталей У10А, У12А

Термоциклическая обработка – вид термической обработки, при которой материал подвергается многократным непрерывным изменениям температуры (циклам нагрева и охлаждения), сопровождающимся структурными и/или фазовыми превращениями в материале с целью получения необходимых свойств материала. Режим приведен на рисунке.

Общее время на проведение термоциклической обработки составляет 24 ч. Режим термоциклической обработки заключается в следующем:

- нагрев в течение 6 ч. до температуры 860 °С;
- выдержка 2 ч. при этой температуре;
- охлаждение за 2 ч до температуры 660 °С;
- выдержка 2 при температуре 660 °С.

Такой цикл повторяется еще 2 раза и число циклов должно быть не менее 3. После проведения всех циклов нагрева/охлаждения сталь охлаждается на воздухе.

Цель циклов нагрева ↔ охлаждения – измельчить частицы цементита за счет внутренних структурных растягивающих напряжений, обусловленных многократными полиморфными превращениями, а также провести полный распад твердого раствора посредством интенсификации диффузионных процессов.

Промышленное опробование ТЦО проводилось на мотках катанки Ø 11,5 мм из стали У12А. 64 мотка плавки 1Т33988 общей массой 28,8 т и 32 мотка плавки 1Т33989 общей массой 14,4 т подвергались термоциклической обработке по разработанному режиму. Термоциклическая обработка проводилась в промышленных печах прокатного цеха на предприятии ПАО «Ижсталь».

После термообработки были отобраны по 10 образцов с произвольных мотков от каждой партии и затем изготовили шлифы для контроля цементитной сетки. Результаты контроля цементитной сетки приведены в табл. 1 и 2.

Контроль цементитной сетки проводился на предприятии ПАО «Ижсталь» в лаборатории металловедения и термообработки по текущей нормативной документации (ГОСТ 1435–99) на электронных микроскопах.

Таблица 1. Цементитная сетка в катанке из стали У12А Ø 11,5 мм плавка 1Т33988 партия 83860 до и после проведения ТЦО

Цементитная сетка до ТЦО	После ТЦО
4	1
5	2
4	2
5	1
4	1
4	2
4	2
5	2
4	2
4	1

Таблица 2. Цементитная сетка в катанке из стали У12А Ø 11,5 мм плавка 1Т33989 партия 83861 до и после проведения ТЦО

Цементитная сетка до ТЦО	После ТЦО
4	2
5	2
4	2
4	2
4	2
5	1
4	2
5	2
4	1
5	1

Наблюдения микроструктуры свидетельствуют, что в результате термоциклирования произошло устранение выделений карбидов по границам зерен. Балл цементитной сетки уменьшился с 4-5-го балла в исходном состоянии до 2-го балла после проведения ТЦО. Это обеспечило приемлемую технологичность при изготовлении калиброванного проката для сердечников.

Проведение ТЦО позволило снизить на 2 балла цементитную сетку в катанке Ø 11,5 мм из стали У12А, что обеспечило приемлемую технологичность при производстве из нее калиброванного проката.

Список литературы

1. *Zinchenko S. A.* Thermocyclic treatment (TCT) - as a method to decrease carbide segregation of hypereutectoid steels. *European Physical J. Special Topics*, 2020, vol. 229, pp 459-465.
2. *Зинченко С. А.* Разработка и внедрение в ОАО «Ижсталь» термоциклической обработки инструментальных сталей // *Черная металлургия*. 2015. № 5. С. 48–50.

Я. О. Князева, аспирант, *yana.kniazeva2015@yandex.ru*
М. А. Кисляков, магистрант, *kafedra.pgs@mail.ru*
Н. К. Симаков, магистрант, *kafedra.pgs@mail.ru*
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Армирование блоков из ячеистого бетона композитной арматурой

Представлены сравнительные характеристики композитной и металлической арматуры, определение масс, информация о достоинствах и недостатках применения композитной арматуры в армировании блоков из ячеистого бетона.

Ключевые слова: композитная арматура, ячеистый бетон, преимущества применения, сдерживающие факторы, экономическая эффективность.

Армирование с применением композитных материалов является продуктом новых технологий. Такая арматура в совершенстве может применяться как альтернатива привычной в использовании стальной арматуре, не уступая ей в технических характеристиках. Технология использования композитной арматуры в домостроении была известна еще с 1960-х гг., но в то время материал был слишком дорогостоящим, соответственно, не вызывал бурного интереса потребителей. В настоящее время данный материал пользуется большим спросом среди застройщиков как частного, так и промышленного строительства [1].

Композитная арматура может заменять металлическую арматуру, и по определенным параметрам превосходит ее по техническим параметрам. Проведем сравнение некоторых параметров стекловолокна и стальной арматуры.

1. Деформативность. Стальная арматура – упругопластичная, АСП (арматура стеклопластиковая) – идеально упругая.

2. Предел прочности: сталь – 390 МПа, стеклопластик – 1300 МПа.

3. Коэффициент теплопроводности. Стекловолокно непроводящее в отличие от стали. Для стали – 46 Вт/м·°С, для композитной арматуры – 0,35 Вт/м·°С.

4. Плотность. Стальная арматура имеет значение в 7856 кг/м³, АСП – 1393,3 кг/м³

5. Коррозийная стойкость. АСП не ржавеет, сталь относительно быстро поддается коррозии.

6. Электрическая проводимость. Стальной стержень является электрическим проводником, что считается его большим недостатком перед стекловолокном, которое представляет собой диэлектрик.

7. Стальная арматура легко поддается изгибу на производстве, нежели композитная. Гнутые изделия из композитной арматуры делаются исключительно на заказ, что может привести к простоям производства.

Возьмем для сравнения их массы и экономическую выгоду (табл. 3). Разность в цене компенсируется применением в строительстве стеклопластиковой

арматуры меньшего диаметра за счет ее высокой прочности по сравнению со стальной арматурой. В таком случае мы имеем следующее соотношение диаметров прутков металла и стекловолокна (табл. 1) [2].

Таблица 1. Соотношение диаметров

Металлическая арматура	6А-III	8А-III	12А-III	14А-III	16А-III
Стеклопластиковая арматура	АСП-4	АСП-6	АСП-8	АСП-10	АСП-12

Массы композитной стеклопластиковой и металлической арматур отличаются – масса первой меньше в несколько раз, чем у второй [3]. Сопоставление масс композитной и стальной арматуры в различных диаметрах показано в табл. 2.

Таблица 2. Массы композитной и стальной арматуры

Диаметр композитной арматуры	Масса 1 м, кг	Диаметр стальной арматуры	Масса 1 м, кг
АСП-4	0,017	D8	0,395
АСП-6	0,039	D10	0,617
АСП-8	0,070	D12	0,888
АСП-10	0,109	D14	1,209
АСП-12	0,157	D16	1,579
АСП-14	0,214	D18	1,998
АСП-16	0,280	D20	2,467
АСП-18	0,3534	D22	2,985
АСП-20	0,437	D24	3,552

Таблица 3. Сравнение масс и экономической выгоды

Характеристики арматуры	Стальная арматура d12	Стеклопластиковая арматура d10	Стеклопластиковая арматура d8
Общая длина (п. м)	5236	5236	5236
Масса 1 м. п. (кг)	0,888	0,12	0,08
Общий вес (кг)	4650	628	419
Цена за 1 м. п. (руб.)	25	25	18
Общая стоимость (руб.)	131000	131000	94300
Средняя стоимость доставки за рейс (руб.)	12000 (тягач)	3000 (газель)	3000 (газель)
Итого (руб.)	143000	134000	97300
Разница (руб.)	–	9000	45700

Из табл. 3 можно сделать следующие выводы. Относительно небольшая масса композитной арматуры упрощает работы по погрузке, разгрузке (без использования специальной техники) и транспортировке. Транспортировку можно осуществлять на автомобиле «Газель» вместо тягача с открытой бортовой платформой, что представляет собой экономическую выгоду для застройщика. Затраты можно сократить более чем в 4 раза.

Далее проанализируем финансовую стоимость двух видов арматур. Данные показатели значительно отличаются друг от друга. Общая стоимость ме-

таллической арматуры составила 131 тыс. руб., а стоимость композитной арматуры всего 97 тыс. 300 руб. С экономической точки зрения замена металлической арматуры на композитную позволяет сэкономить 45 тыс. 700 руб. (или примерно 32 %).

На примере армированных перемычек разберем возможность замены стальной арматуры на композитную.

Для предприятия, занимающегося изготовлением армированных панелей домостроения, переход от стальной арматуры на композитную выгоднее с точки зрения транспортировки (см. табл. 3).

Сборка и транспортировка каркасов значительно упрощается, это связано с тем, что пруты имеют относительно небольшую массу и податливость материала к резке. Также не придется использовать сварные соединения. Благодаря своей коррозионной стойкости каркасы, армированные композитной арматурой, не будут подвергаться воздействиям кислотной и щелочной среды и продлят срок службы готового изделия. Таким образом, можно сократить время производства, убрав из технологического процесса обработку глинистым раствором и последующую сушку, которые применяются при использовании армированных каркасов.

Заливка и подрез перемычек с композитными каркасами ничем не будет отличаться от заливки стальных, благодаря их идентичной форме.

После заливки и подреза перемычки отправляются сушиться в автоклав. В нем перемычки нагреваются под действием пара высокого давления (выше атмосферного). Композитная арматура имеет одинаковый коэффициент температурного расширения с бетоном. Когда температура окружающей среды изменяется, она расширяется и сужается с помощью бетонных конструкций, предотвращая растрескивание и другие подобные деформации, которые затем «омолаживаются». На «омоложение» одной перемычки уходит примерно 20 мин. В данном случае снова удастся сэкономить время.

Возможность замены позволит снизить массу готовых изделий. При обустройстве дверных и оконных проемов будет проще поднимать их на определенную высоту. Для примера возьмем перемычку ЗПБ16-37, размеры которой составляют 1550×120×220 мм. Расчетная нагрузка 3800 кгс/м. Расход материалов: бетон – 0,041 м³, сталь – 2,94 кг. Масса такой перемычки будет 102 кг [4]. При равнопрочной замене каркаса его вес уменьшится более чем в 10 раз. Масса готовой продукции уменьшится как минимум на 3 кг.

Композитный каркас не экранирует электромагнитные сигналы, является отличным диэлектриком (играет роль защиты от блуждающих токов), исключает возникновение в конструкции «мостиков холода».

Применение композитных материалов при изготовлении перемычек позволит увеличить срок ее службы в 2...3 раза по сравнению со стальными каркасами, благодаря антикоррозионным свойствам композитных материалов [5, 6].

Из-за низкого модуля упругости не представляется возможным деформировать арматуру на рабочем месте с использованием различного вида оборудования. Гнутые элементы каркаса нужно заранее заказывать у поставщиков. Ошибки поставщиков при комплектации гнутых изделий могут привести

к простою на производстве. Работодатель обязан будет оплатить время простоя всех рабочих.

При понижении температуры до -40 °С прочность стеклопластиковой арматуры увеличивается приблизительно на 40 %, а при нагреве готового изделия на температуру превышающую $+300$ °С прочность АСП постепенно уменьшается на 60 %. При долгом воздействии открытого огня это может стать причиной деформации отдельных элементов, в которых использовались данные каркасы. Но благодаря пористости ячеистого бетона перемычка будет медленнее нагреваться. Ей свойственна низкая теплопроводность, она позволяет увеличить время нагрева каркаса на значительную величину. Изменение характеристик прочности АСП, происходящие вследствие колебания температур в пределах $-40 \dots +300$ °С, являются обратимыми.

Выводы

Главными факторами замены стальной арматуры на композитную являются: снижение стоимости благодаря уменьшению диаметров арматуры, простота в использовании и транспортировке, относительно небольшая масса.

Использование композитной арматуры позволит сократить значительное количество времени технологического процесса.

Необходимо совершенствование знаний при работе с композитной арматурой, наблюдение за конструкциями в процессе эксплуатации и под воздействием на них таких факторов, как водопоглощение, промерзание, термическое воздействие и действие агрессивной среды [7–10].

Список литературы

1. Бадьин, Г. М. Современные технологии строительства и реконструкции зданий / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2013.
2. Арматура 21 века. URL: <http://nano-sk.ru/stekloplastikovaya-armatura-dlya-remyushek/> (дата обращения 21.11.2018).
3. Электронный ресурс. URL: <http://арматура24.рф/primenenie/Ves-armatury/> (дата обращения 21.11.2018).
4. Файловый архив студентов. URL: <https://studfiles.net/preview/511916/> (дата обращения 21.11.2018).
5. ГОСТ 32487–2013. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик стойкости к агрессивным средам.
6. ГОСТ 32486–2013. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения характеристик долговечности.
7. Инновационные технологии строительства как базовый ресурс повышения конкурентоспособности организаций / В. П. Грахов, Ю. Г. Кислякова, Н. М. Якушев, В. А. Караваева // Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве : сб. материалов науч.-техн. конф. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. С. 21–32.
8. Лешкевич, О. Н. Перспективы применения композитной арматуры // Проблемы современного бетона и железобетона : Третий Междунар. симпозиум, 2011. С. 19–21.
9. Грахов, В. П. Возведение зданий с монолитным каркасом : монография / В. П. Грахов, Ю. Г. Кислякова, Н. М. Якушев. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. С. 148.
10. Практика и перспективы применения композитов / В. П. Грахов, А. А. Кисляков, Н. К. Симаков, М. А. Кисляков // Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве : сб. материалов Четвертой науч.-техн. конф., 2018. С. 5–8.

А. П. Лужбина, бакалавр, aluzbina171@gmail.com

Д. Д. Горбадеева, бакалавр

Э. В. Алиев, кандидат технических наук, доцент, kompetencii@gmail.com

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Разработка облегченного транспортного средства

Существуют определенные потребности в транспортировке людей и грузов по пересеченной или труднопроходимой местности. Существующие устройства обычно представляют собой крупногабаритные, сложные устройства. Цены на данное транспортное средство высокие. В данное время ведется проект по созданию альтернативного изделия. Результат проекта – разработка упрощенной системы транспортировки, имеющей при этом несколько расширенный функционал.

Ключевые слова: транспорт, омнидвигитель, мотор-редуктор, шасси, эвакуация.

В настоящее время имеет место спрос на транспортировку небольшой поклажи по пересеченной и труднопроходимой местности. Устройства, решающие указанные задачи, уже существуют, но обычно они представляют собой крупногабаритные сложные устройства. «Мотособаку» можно приобрести в специализированном магазине, однако цены на данное транспортное средство высокие. В данное время ведется работа по созданию альтернативного изделия. Целью является разработка упрощенной системы транспортировки, имеющей тот же функционал, но проще, легче и дешевле.

Предлагаемое транспортное средство имеет следующее устройство. Низкий плоский корпус тягового модуля с размещенными в нем двумя небольшими автомобильными аккумуляторами. Двигатели в виде мотор редукторов (рис. 1) с возможностью закрепления колес на их выходных валах.

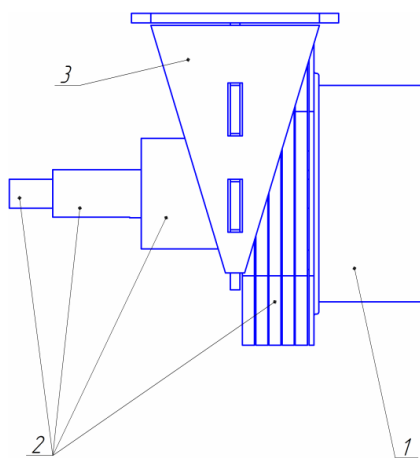


Рис. 1. Мотор-редуктор

В случае шестиколесного исполнения корпус предполагается переламываемым в поперечной горизонтальной оси (рис. 2).

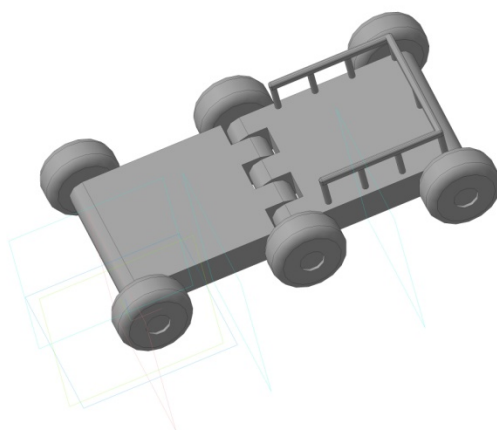


Рис. 2. Тяговый модуль с прицепом

Поворот предполагается осуществлять посредством разницы скоростей вращения колес по левому и правому борту. При такой системе управления, даже в случае с шестью ведущими колесами конструкция получается простой, надежной и дешевой. Возможны специальные варианты с повышенной проходимостью. В этом случае две колесные пары связываются гусеницей. Третья ось снабжена поворотным механизмом с трапецией, но не является ведущей.

Такие системы показали достаточные тяговые возможности и неприхотливость (рис. 3).



Рис. 3. Мотобуксировщик на гусеничном ходу

Также представляется возможным расширить спектр решаемых такой системой задач. Учитывая тот факт, что применение электропривода значительно снизит шумность системы, помимо доставки охотничьего и рыболовного скарба данная транспортная платформа может участвовать в эвакуации раненных с поля боя, для военного снабжения, а также использоваться как моторизованная садовая тележка. В последнем случае шасси данной платформы целесообразно облегчить и сократить до четырех колес.

На следующих рисунках представлены садовые моторизованные тележки с омниколесной парой шарохода Кошарова [1]. Данное техническое решение менее требовательно к качеству грунтовой поверхности, чем другие омнисистемы, включая меканум-колесо (mecanum wheel) – колесо специальной конст-

рукции шведского изобретателя Бенгта Эрланда Айлона [2]. На рис. 4, 5 омни-колесная пара шарохода Кошарова расположена поперечно и продольно движению соответственно.

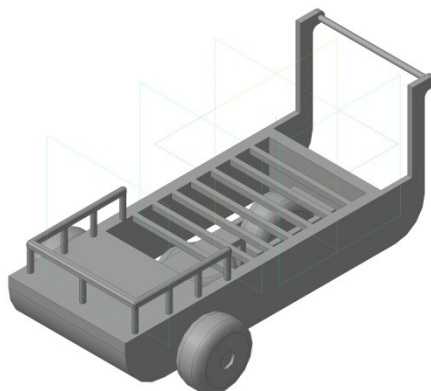


Рис. 4. Моторизованная тележка с продольно расположенной омниколесной парой шарохода Кошарова

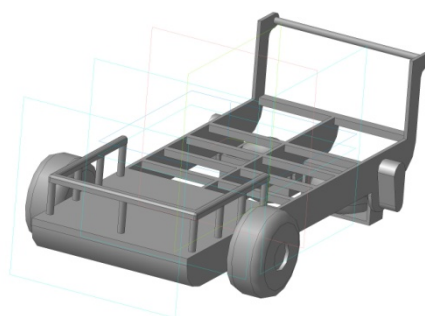


Рис. 5. Моторизованная тележка с поперечно расположенной омниколесной парой шарохода Кошарова

При этом вполне осуществимо, выполнить омниколёсный движитель в виде модуля, отделяющегося вместе с аккумуляторами от тележки, которая после этого перестает быть моторизованной.

Таким образом, предлагаемое техническое решение заполняет нишу более легких и дешевых транспортных средств, обладает рядом преимуществ, включая повышенную надежность и ремонтпригодность, что немаловажно при эксплуатации.

Список литературы

1. *Илон В.* Wheels for a course stable selfpropelling vehicle movable in any desired direction on the ground or some other base. Patent USA, 3876255, 1974 – 8 april 1975.
2. *Захарченко, В. Д.* Шароход против илонатора // Техника молодёжи. 1982. № 7. С. 6–10.

М. А. Привалова, аспирант, izz.pri@ya.ru; Я. О. Князева
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
И. В. Симченко, начальник отдела качества
ПАО «Датбанк»

Предпосылки для развития автоматизированных систем управления рисками в строительстве

Невозможность учесть влияние многих факторов на конечный результат финансовой и хозяйственной деятельности, которые необходимо учитывать с этапа планирования до ввода в эксплуатацию объектов строительства, становится причиной появления проблем в организации, увеличении финансовых потерь для всех участников строительства на различных этапах производственного, инвестиционного и инновационного процессов. В связи с этим в статье рассматриваются предпосылки для развития автоматизированных систем управления рисками, а также возможные выгоды для строительной отрасли от развития данных технологий.

Ключевые слова: управление рисками строительства, автоматизированные системы управления рисками, риски строительства, управление качеством в строительстве.

Стоит отметить тот факт, что экономическая среда очень быстро развивается в современных реалиях, в том числе строительная отрасль, которая наиболее подвержена различного рода рискам, и вопрос эффективного менеджмента качества, включая эффективное управление рисками, остается крайне актуальным уже на протяжении долгих лет. Россия сегодня традиционно отстает в качественном управлении проектами. Во всем мире насчитывается 933 тыс. сертификатов PMP (Project Management Professional). Так, 40 % приходится на США, 18 % – на Китай, 7 % – на Канаду, по 5 % – на Индию и Японию. В РФ количество специалистов, сертифицированных по PMP, составляет 1580 человек (1,7 %) [1]. Это связано двумя факторами: низкий уровень образования в области управления проектами и традиционным перекосом нашей страны в сторону технических дисциплин. Более того, сама система управления рисками постоянно подвергается влиянию следующих факторов: постоянно меняющиеся тенденции в строительном бизнесе, непростая экономическая и геополитическая ситуации, изменения в законодательной базе, быстрые технологические изменения и т. д.

Тема управления рисками актуальна не только на территории РФ. Крупные строительные компании, которые занимаются реализацией промышленных и социальных объектов, сталкиваются с множеством проблем, что приводит их экономически невыгодным проектам. Согласно международной практике допуск отклонений от показателей составляет до 20 %. Этот уровень учитывает отклонения в сроках, бюджете, и не каждой компании удастся остаться в пределах этого уровня [2]. К примеру, Risk & Insurance выделяет топ-6 основных

рисков на этапе строительства объектов: риск дефектов, ошибок, нарушения технологии; низкая квалификация рабочей силы, приводящих к задержкам и травмам; договорные риски; риски срыва сроков подрядчиками; безопасность на строительных площадках; кражи на строительных площадках [3].

Руководители крупных строительных компании России отмечают, что внедрение автоматизированной системы управления проектами и рисками жизненно необходимо. По мнению экспертов компаний, большинство проектов России реализуется с превышением бюджета. В 9 из 10 случаев расходы в основном недооценены, что приводит к существенному росту затрат и в связи с этим – повышению реальной стоимости проекта в среднем на 30 %, чем сметная. Стоит отметить, что Россия не исключение: недооценка расходов и перерасходов средств присутствует в 20 странах на пяти континентах и является глобальным феноменом [2].

В связи с этим перед строительной отраслью остро стоит проблема создания эффективной системы управления рисками. Современные методы работы рисками связаны с мировым трендом – расширение применений технологий искусственного интеллекта. Лидерами в применении данных технологий согласно исследованию Capgemini Research Institute являются Китай, Франция и США. Большинство экспертов настаивают на оценке риска проектов с использованием аналитического обзора Big Data, где большую часть данных будут воссоздавать сами компании. Эти данные станут важным активом, а безопасность – фундаментом в жизни; данная технология изменит экономический ландшафт строительной отрасли [4]. Автоматизация алгоритмов управления рисками позволяет повысить эффективность работы за счет осуществления эффективного и открытого управления рисками организаций, снижения влияния человеческого фактора, повышения культуры управления рисками и в целом уровня корпоративного управления организацией.

Основной характерной чертой формируемой информационной среды в области управления рисками является выработка управленческого решения в результате итерационного процесса, в котором участвует, к примеру, система поддержки принятия решений в роли вычислительного звена и объекта управления и человек как управляющее звено, задающее входные данные и оценивающее полученный результат вычислений на компьютере [5].

Для работы с рисками, в том числе их анализа и построения системы их управления, внедряют новые решения и устройства: различные современные программные обеспечения, мобильные системы и т. д. Преимущества применения автоматизированных информационных технологий анализа и управления рисками выражаются в следующем:

- снижение сложности работы при обработке больших объемов информации;
- способность решения слабоформализованных задач;
- совмещенность традиционных методов доступа и обработки компьютерных данных с возможностями математических моделей и методами решения задач на их основе;

– высокая приспособляемость, которая дает возможность адаптировать систему к нюансам технического и программного обеспечения, а также к нуждам пользователя [6].

Таким образом, преимущества применения информационных технологий для автоматизации процесса анализа и управления рисками строительной отрасли повышает прозрачность проектов строительства, системно уменьшают финансовые потери, появляются готовые планы реагирования на кризисные явления, формируется отраслевая база рисков строительного сегмента, риски становятся более видимы для менеджмента, появляется четкое распределение ответственности за те или иные риски. Хочется подчеркнуть необходимость производить исследования и вести разработки в областях искусственного интеллекта и машинного обучения с применением больших данных для решения проблем управления рисками в строительной области.

Список литературы

1. Сертификация специалистов в области управления проектами. URL: <http://www.pmuniversity.ru/services/certification> (дата обращения: 21.04.2020).
2. Риски в строительстве: как ими управлять. URL: <https://stroim.su/articles/riski-v-stroitelstve-kak-imy-upravlyat> (дата обращения: 21.04.2020).
3. Белков, А. Управление строительными проектами с учетом рисков. Этапы оценки, выбора, планирования и реализации проектов. URL: <http://riskwebinar.tilda.ws/> (дата обращения: 28.10.2019).
4. *Ashish Devalekar*. The benefits outweigh the risks - get off the fence and onto the Blockchain. URL: <https://www.capgemini.com/2019/07/the-benefits-outweigh-the-risks-get-off-the-fence-and-onto-the-blockchain/> (дата обращения: 18.04.2020).
5. Управление инвестиционными проектами в условиях риска и неопределенности: учебное пособие для вузов / Л. Г. Матвеева, А. Ю. Никитаева, О. А. Чернова, Е. Ф. Щипанов. М. : Юрайт, 2020. 298 с.
6. *Новожилов, О. П.* Информатика : учебник для СПО. М. : Наука, 2016. 620 с.

С. Н. Семёнова, магистрант, semionovasvetlana@mail.ru
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

А. А. Шушков, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Институт механики Удм ФИЦ УрО РАН, Ижевск

Обзор методов прогнозирования реологических свойств нанокompозитов

Предложено решение проблемы прогнозирования физико-механических свойств композитов с наноразмерными включениями. Рассмотрены законы в области коллоидной химии и актуальные исследования в области механических свойств наноструктур и нанокompозитов. Рассматривается теоретическая сторона вопроса в прогнозировании свойств композитов. Исследование направлено на определение модуля упругости и вязкости фаз гетерогенной среды.

Ключевые слова: композиционный материал, нановключения, упругость, вязкость, модель осреднения, фрактально-кластерный подход, реологические свойства.

Введение

Композиционные материалы (КМ) в современном материаловедении занимают важное место благодаря таким качествам, как простота эксплуатации, сравнительно небольшой вес и наличие большого разнообразия модификаций, необходимых для решения поставленных задач. Разного рода наполнители способны изменять механические свойства и наделять полимер новыми свойствами. При этом изменение механических свойств неизбежно, поэтому возможность точного прогнозирования этих изменений в зависимости от типа и количества наполнителя несет первоочередной характер во избежание таких явлений, как растрескивание или полное разрушение материала под влиянием внешних нагрузок. Позволяет обеспечить производство нанокompозитов с заданными требуемыми свойствами. Наличие такой зависимости существенно снижает объем производимых экспериментальных исследований, экономит в несколько раз время и денежные вложения. Определение физико-механических свойств гетерогенного материала возможно через усредненные величины свойств его компонентов – матрицы и наполнителя. При изменении характерного размера нановключений (нановолокон, нанотрубок, наночастиц и т. д.) их физико-механические характеристики – прочность, модуль упругости, деформационные и др. – изменяются на порядок. Это обусловлено в первую очередь существенным изменением структуры и формы нановключения. Особенно большой интерес к их исследованию появился в последнее время в связи с конструированием КМ и оптимизацией их характеристик. Поэтому наличие зависимостей физико-механических свойств КМ от свойств, размеров, процентного содержания нановключений и свойств матрицы имеет существенное значение для создания новых перспективных КМ с улучшенными или заданными физико-механическими свойствами.

Постановка задачи и методики расчета

Необходимо определить, какие этапы можно выделить для успешного применения КМ. Формулируем характеристики нового материала: где оно будет использоваться, каковы основные требования к материалу. В плане реологических свойств постановка задачи нахождения эффективного модуля упругости и эффективной вязкости. В табл. 1 выведены основные этапы проектирования композиционного материала с учетом взаимного влияния матрицы и наполнителя, этапы дополнены кратким описанием необходимых мероприятий.

Таблица 1. Проектирование композиционного материала с наноразмерными включениями

Наименование этапа	Ключевые моменты	Результат
Постановка задачи	Максимальные нагрузки, температурный режим эксплуатации, типы напряжения (нормальные, касательные) и деформации	Получение необходимых характеристик для подбора компонентов
Подбор компонентов	Тип наполнителя (дисперсные, волокнистые), размер и форма частиц, характер расположения в матрице, химические особенности матрицы, взаимодействие матрица – наполнитель (адгезия, адсорбция, коагуляция)	Некоторое количество комбинаций «матрица-наполнитель»
Выбор технологии производства	Технология отвечает за то, как система будет работать. Основные принципы внедрения диспергированной фазы в среду: синтез наноструктуры непосредственно в матрице и внедрение частиц механическим перемешиванием	Выбор исходит из назначения композита (тепло- или электропроводник, высокопрочные покрытия, строительные конструкции и др.)
Математическое моделирование	Подстановка предположительно известных величин для разных фаз гетерогенной среды в выражения, приведенные для первого этапа	Теоретические значения механических свойств композитов
Модифицирование элементов системы	Производится по необходимости. Методы модификации наполнителя, изменение методов смешения компонентов	Изменение взаимодействия матрицы с полимером
Изготовление и испытание образцов	Сравнение теоретических и экспериментальных данных механических свойств. Наличие дефектов и других неучтенных параметров уменьшают прочностные характеристики КМ	Возможность ведения КМ в производство

Рассмотрим существующие методы математического моделирования на примере наполненных полимеров, при условии, что частицы равномерно диспергированы по объему и расстояния между ними настолько велики, что взаимодействием между частицами можно пренебречь. Особенностью использования наноразмерных включений заключается в том, что их объемная доля в композите варьируется в небольших концентрациях, не превышающих 2 %. По большей части реологические свойства материала характеризует модуль упру-

гости для твердого тела и вязкость для жидкости. Простейшие зависимости для упругости:

$$E_n = E_n (1 + 2,5\Phi), \quad (1)$$

где E_n, E_n – модули упругости наполненного и ненаполненного полимеров соответственно; Φ – объемная доля наполнителя [1].

Простейшей зависимостью, описывающей вязкость наполненной дисперсной системы, является уравнение Эйнштейна для суспензий

$$\eta = \eta_0 (1 + 2,5\phi) \quad (2)$$

и уравнение Гута

$$\eta = \eta_0 (1 + \alpha\phi + \beta\phi^2), \quad (3)$$

где η, η_0 – вязкости наполненного и ненаполненного полимера соответственно; ϕ – объемная доля наполнителя; α и β – константы [1]. Приведенные уравнения действительны в идеально диспергированных гетерогенных системах, при малых концентрациях жесткого наполнителя и их сферической формы; кроме того, в простейших уравнениях (1), (2) должно выполняться условие, что между фазами действуют только силы Ван-дер-Ваальса.

Так как учет свойств каждой частицы дисперсной среды не представляется возможным, применяются различные модели осреднения. Эффективная упругость для малой объемной доли включений согласно модели осреднения по Кристенсену [2] выражена через объемный модуль k и имеет вид

$$k_{\text{эф}} = k_M + \frac{(k_1 - k_M) \times c}{1 + [(k_1 - k_M) / (k_M + 4/3\mu_M)]}, \quad (4)$$

где μ_M, k_M – модуль сдвига и объемный модуль матрицы; k_1 – объемный модуль включений. Выражение справедливо для монодисперсных включений. Для объемного модуля полидисперсных моделей используется следующее выражение:

$$k_{\text{эф}} = k_M + \frac{(k_1 - k_M) \times c}{1 + (1 - c) [(k_1 - k_M) / (k_M + 4/3\mu_M)]}. \quad (5)$$

В исследовании [3] приводится выражение Ландела – Мозера – Баумана для эффективной вязкости полимера с дисперсными наполнителями:

$$\eta_{\text{эф}} = \frac{\left(\eta - \frac{\eta_0}{\eta_g} \right)}{\phi} = \alpha K + \beta K^2 \phi_0, \quad (6)$$

$$K = \frac{\phi_g}{\phi_0}, \quad (7)$$

где α и β – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида и дисперсности наполнителя; ϕ_0 – объемная доля наполнителя; ϕ_g – массовая доля наполнителя; ϕ_{max} – максимальная объемная доля наполнителя, рассчитываемая как отношение насыпной плотности наполнителя к истинной [3].

Во фрактально-кластерном подходе прогнозирования вводится величина фрактальной размерности d_f ; изменение данной величины может свидетельст-

воват об изменении структурной организации полимера и, следовательно, его свойств [4], в том числе и механических. Определение этой величины производится в программе FracDim на основе островного среза. Далее приведена зависимость фрактальной размерности d_f от объемной доли наполнителя $\varphi_{кл}$:

$$d_f = 3 - 5,98 \cdot 10^{-10} \sqrt{\varphi_{кл} / C_{\infty} S} . \quad (8)$$

Экспериментальные данные показывают, что уменьшение значения фрактальной размерности указывает на повышение прочности композиционного материала.

Значения упругости или вязкости обычно имеют отклонения от теоретического значения в силу наличия дефектов в композите для общей оценки изменения механических свойств использовать величину относительного усиления:

$$P = \frac{(\tau_n - \tau_0)}{\tau_0} , \quad (9)$$

где τ_n, τ_0 – разрывные напряжения для наполненных и ненаполненных образцов соответственно. Данная величина зависит от концентрации наполнителя.

Заключение

В силу множества факторов, имеющих влияние на реологические свойства КМ, например, размер, форма, объемная доля диспергированной фазы существуют разные модели осреднения и методы прогнозирования. Отсутствие единой системы методов усложняет задачу и делает ее более трудоемкой. В работе приведены основные этапы и методики проектирования КМ, основные методики прогнозирования свойств КМ на основе известных свойств, химического состава размера, формы, процентного содержания нановключений либо матрицы. Представлена методика прогнозирования реологических свойств КМ на примере полимера с внедренными сферическими наночастицами. Практическая полезность исследования состоит в том, что оно связано с представлением методик расчета, прогнозирования механических свойств КМ от размера, формы, химического состава нановключений или матрицы, что позволит обеспечить производство нанокompозитов, микрокомпозиционных материалов с заданными требуемыми свойствами. Расчет такой зависимости в разы уменьшает число экспериментальных исследований и финансовых затрат.

Список литературы

1. *Слюсарь, О. А.* Коллоидная химия полимеров : учебное пособие. Белгород : Белгородский гос. технолог. ун-т им. В. Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2017. 126 с.
2. *Кристенсен, Р. М.* Введение в механику композитов ; пер. с англ. А. И. Бейля, Н. П. Жмудя. М. : Мир, 1982. 34 с.
3. *Аминева, Е. Х.* Физические свойства композиционных материалов на основе полипропилена : дис. ... канд. физ.-мат. наук. Нальчик, 2009. 139 с.
4. *Роголёв, А. В.* Прогнозирование свойств композиционного материала, наполненного наноразмерными частицами в рамках фрактально-кластерного подхода // Ползуновский вестник. 2007. № 3. С. 98–105.

О. Л. Симченко, старший преподаватель, simchenko.ol@yandex.ru
У. В. Кривокубова, бакалавр, krivozubovau@mail.ru
Е. Л. Чазов, аспирант, elchazov@mail.ru
А. С. Сунцов, кандидат технических наук, доцент, alexandrsun4009@gmail.com
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Устройство подземных сооружений по технологии «стена в грунте» с применением BIM-моделирования*

Посредством рассмотрения технологии «стена в грунте» выявлены способы и методы возведения подземных зданий и сооружений. Рассмотрены обязательные условия для использования данной технологии, необходимая строительная техника, возможные риски, экономия строительства, технологический цикл, а также достоинства и недостатки. Приведена схема применения технологии «стена в грунте».

Ключевые слова: подземные сооружения, устройство, технология, способы, область применения.

Введение

Современное строительство направлено на возведение высотных зданий и подземных сооружений [1]. Начальный этап строительства, или нулевой цикл, в строительных работах занимает много времени, так как для надежных фундаментов зданий и сооружений необходимо правильно подготовить участок, выполнить огромный объем подземных работ. Чтобы избежать возможных воздействий грунтовых вод, а также влияния строительства на соседние здания, применяют одну из самых надежных технологий для устройства подземных сооружений – «стена в грунте». Предварительно проектирование технологии рекомендуется осуществлять с применением BIM-моделирования с целью снижения затрат на этапе строительства, налаживания информационного обмена, а также хранения информации в едином месте для упрощения взаимодействия участников [4].

Технология «стена в грунте» – это разработка траншеи с вертикальными стенками под защитой глинистого раствора и последующим заполнением траншеи строительными материалами или сборными конструкциями [1, с. 48].

Цель настоящего исследования – рассмотрение теоретических и практических аспектов технологии «стена в грунте» при устройстве подземных сооружений с применением BIM-моделирования.

Основная часть

Основополагающим при возведении подземных сооружений является учет таких факторов, как объемно-планировочные решения, применяемые ма-

териалы, функциональное назначение сооружения, а также конструктивные решения.

Области применения технологии «стена в грунте»:

– промышленное строительство; в промышленном строительстве технологию используют для возведения подземных этажей и фундаментов, установок разливки стали, колодцев дробильных цехов, бункерных ям, для постройки туннели и др.;

– жилищно-гражданское строительство – возведение подземных паркингов, этажей и фундаментов;

– транспортное строительство – возведение подземных туннелей, переходов, автомобильных дорог и стоянок, а также и других подземных сооружений глубиной до 25...30 м;

– гидротехническое строительство – возведение водохранилищ, насосных станций и водозаборов, противодиффузионных диафрагм, строительство противооползневых инженерных сооружений [2, с. 7].

При выборе технологии «стена в грунте» необходимо брать во внимание следующее:

– максимальная толщина стены не должна превышать 100 см;

– траншея в обязательном порядке должна быть разделена на захватки;

– обеспечение устойчивости стены с помощью анкеров, жестких распорок и рам;

– стены лучше возводить в водоупорных слоях грунта, что позволяет не производить работы по водопонижению и уменьшить сметную стоимость строительства;

– возможность возведения вблизи существующих зданий и сооружений.

Устройство «стены в грунте» может осуществляться следующими способами:

– свайный способ; «Стена в грунте» будет являться ограждающей конструкцией, которая формируется из плотного расположения друг к другу буронабивных свай;

– монолитный способ – заполнение подготовленной траншеи бетонной смесью; при данном способе из-за глинистого раствора сцепление бетона с арматурой ухудшается; этот способ лучше применять в летний период;

– сборный способ – строительство стены осуществляется из сборных железобетонных элементов, что позволяет повысить производительность труда;

– сборно-монолитный способ объединяет в себе монолитный и сборный способы; сборными элементами возводят стену, а бетонной смесью заполняют вертикальные пустоты; или нижнюю часть возводят из монолитного бетона, а верхнюю часть сооружения из сборных железобетонных элементов.

В зависимости от инженерно-геологических условий стену в грунте возводят двумя методами:

1) сухой метод; используется в маловлажных устойчивых грунтах. Дополнительное укрепление не требуется;

2) мокрый метод; применяется при строительстве в водонасыщенных грунтах; в данном случае производят дополнительное укрепление стен от об-

рушения с помощью глинистого раствора, который обладает тиксотропными свойствами, и форшахты. Тиксотропные свойства позволяют глинистому раствору в состоянии покоя загустевать, а при колебательных воздействиях возвращаться к исходному состоянию [1, с. 49]; оптимальными тиксотропными свойствами обладает бентонитовая глина.

Для разработки траншей используют строительные машины циклического и непрерывного действия. Если разработка происходит с глинистой суспензией, то применяют буровые установки вращательного и ударного бурения, грейферы, драглайны и обратные лопаты, также специальные ковшовые, фрезерные и струговые установки [1, с. 50].

Технологию «стена в грунте» не применяют:

- если на участке рыхлые свалочные грунты или грунты с пустотами;
- имеются остатки бетонных и железобетонных элементов, металлических конструкций или каменной кладки;
- при малом заглублении (до 5 м) сооружения;
- наличии зон большой местной фильтрации грунтов и напорных подземных вод [3, с. 39].

Этапы устройства «стены в грунте» монолитным способом

Этап 1. Устройство форшахты. Форшахта – монолитная сплошная конструкция, возводимая в неглубокую траншею (рис. 1). Она задает контур и направление будущей стены в грунте, помогает технике, осуществляющей откопку.

После устройства форшахты грейфер выбирает грунт из траншеи до нужной глубины. По мере откопки траншеи ее заполняют бентонитовой смесью, чтобы не обсыпались стены (рис. 2).

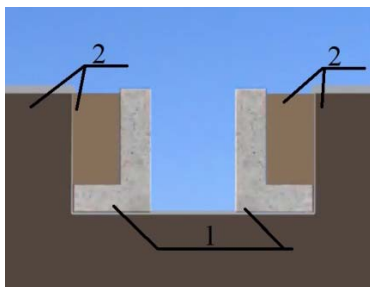


Рис. 1. Поперечный разрез форшахты: 1 – форшахта; 2 – грунт

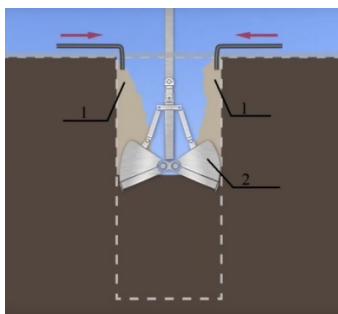


Рис. 2. Схема разработки траншеи: 1 – бентонитовая смесь; 2 – грейфер

В конце 1-го этапа в траншею на всю глубину погружают два ограничителя.

Ограничители различаются:

– неизвлекаемые – железобетонные балки прямоугольного сечения или стальные двутавровые балки; такие балки являются жесткой арматурой и избавляют от необходимости установки арматурных каркасов [1];

– извлекаемые – стальные или железобетонные трубы, служат для разделения траншеи на захватки.

Этап 2. Монтаж арматурных каркасов. С помощью техники опускают арматурные каркасы в траншею (рис. 3).

Этап 3. Бетонирование. Бетон подают на дно траншеи через бетонолитные трубы, сверху происходит откачивание насосом бентонитовой смеси на соседнюю захватку или емкость до окончания заполнения бетоном траншеи. Бетон укладывают на 10...15 см выше конструкции для последующего извлечения бетонной смеси с глинистыми частицами. При длине захватки свыше 3 м укладку бетона производят через две бетонолитные трубы одновременно (рис. 4).

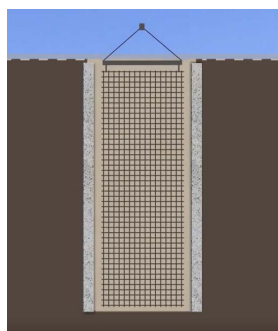


Рис. 3. Монтаж арматурного каркаса

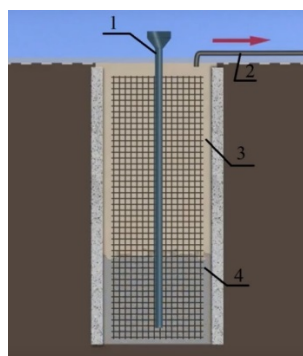


Рис. 4. Бетонирование: 1 – бетонолитная труба; 2 – установка для откачивания бентонитовой смеси; 3 – бентонитовая смесь; 4 – бетон

Этап 4. Демонтаж форшахты. Экскаватор откапывает форшахту, далее форшахту делят на фрагменты и проделывают в них отверстия для последующего демонтажа краном.

Этап 5. Образование единого элемента. Размолачивается верхняя часть бетонной стены, оголяется арматура, монтируется горизонтальный арматурный каркас, устраивается опалубка и заливается бетон.

Благодаря использованию технологии «стена в грунте» сметная стоимость ориентировочно становится ниже на 7 %, чем стоимость аналогичных сложных или многослойных конструкций. Высокий уровень механизации указанной технологии позволяет значительно сократить сроки строительства.

Рассматривая BIM-моделирование при устройстве подземных сооружений при использовании технологии «стена в грунте» можно отметить его широкое применение. На сегодняшний день именно BIM-моделирование стало третьим методом для решения различных задач в области технологий строительства туннелей и подземного пространства. Конечная цель BIM-моделирования – создание виртуального проекта – цифровой модели инженерии, которая может реально воспроизводить физический аналог, тем самым достигнуть оптимального выбора параметров для целей проектирования и эксплуатации [1].

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод, что технология «стена в грунте» может использоваться в жилищно-гражданском, промышленном, транспортном и гидротехническом строительстве. При возведении учитываются погодные условия, характеристики и свойства грунтов. На основе полученных данных подбирают более подходящий способ – свайный, монолитный, сборный или сборно-монолитный. Данная технология позволяет сократить срок строительства и уменьшить стоимость строительства.

В настоящее время при проектировании подземных зданий и сооружений используют технологии BIM-моделирования, которые помогают создать виртуальный проект и решить все поставленные задачи. Самый распространенный метод в наше время – метод конечных элементов.

Список литературы

1. *Теличенко, В. И.* Технология возведения зданий и сооружений / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лapidус. М., 2004. 447 с.
2. *Колесников, В. С.* Возведение подземных сооружений методом «стена в грунте», технология и средства механизации / В. С. Колесников, Б. С. Стрельникова. Волгоград, 1999. 144 с.
3. *Смородинов, М. Н.* Устройство фундаментов и конструкций способом «стена в грунте» / М. Н. Смородинов, Б.С. Федоров. М., 1976. 372 с.
4. *Zhao G., Ma G., Fan L., Sasaki T.* [Recent advancement of computational methods for tunneling and underground construction by Tunnelling and Underground Space Technology]. Elsevier Publ., 2020, 13 с.

В. Г. Суфиянов, доктор технических наук, профессор, vsufiy@mail.ru
Д. Г. Нефёдов, кандидат технических наук, доцент, nefedov@istu.ru
Д. А. Клюкин, anatoliikljukin@mail.ru
ИжГТУ имени М. Калашникова

Результаты математического моделирования колебаний ствола при выстреле в одномерной постановке*

Представлены результаты моделирования колебаний ствола при выстреле. Рассмотрены математические модели продольных и поперечных колебаний для ствола с переменными сечениями и представлены численные схемы решения одномерных уравнений колебаний. Определено время достижения волной конца ствола, возникающей при продольных колебаниях. Исследовано время затухания поперечных колебаний, а также определена их частота и амплитуда.

Ключевые слова: математическое моделирование, колебания ствола, выстрел, программно-вычислительный комплекс.

Введение

Выстрел из артиллерийского орудия происходит вследствие выталкивания снаряда порохowymi газами под высоким давлением. Газообразные продукты, интенсивно образующиеся вследствие сгорания пороха, в свою очередь, вызывают колебания ствола в различных направлениях [1]. Вызванные в результате колебания негативно влияют на точность стрельбы, при этом, как будет далее показано, скорость волны, возникающей при колебаниях в стволе, превышает скорость снаряда и, следовательно, оказывает влияние даже на первый выстрел.

Давление внутри ствола определяется из решения задачи внутренней баллистики, а именно задачи Лагранжа в термодинамическом приближении. В результате решения задачи Лагранжа определяется закон изменения распределения давления пороховых газов внутри ствола и скорость движения снаряда в зависимости от пути и времени. Расчет внутриваллистических параметров проводится на основе решения задачи Лагранжа в термодинамическом приближении по модели [2].

Математическая модель колебаний ствола в одномерной постановке рассматривается в виде дифференциальных уравнений упругих колебаний консольной балки, жестко закрепленной с одной стороны и шарнирно опертой в промежуточной точке [1, 3, 4]. Решение этих уравнений осуществляется методом Фурье (разделения переменных) [1, 3] и методом конечных разностей [4]. В данной работе представлена девятиточечная схема решения дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей.

Будем рассматривать ствол произвольной формы, т. е. с переменными сечениями, закрепленный только слева. Информация по геометрии ствола сведена в таблицу. В строках таблицы указываются: координаты точек x , расположенных вдоль ствола, значения внутреннего r_1 и внешнего r_2 радиусов в данных точках. Плотность материала $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, модуль Юнга $E = 200 \text{ ГПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,25$.

Геометрия ствола орудия

Координата x участка, м	Внутренний радиус r_1 , м	Внешний радиус r_2 , м
0	0,08	0,16
0,4	0,08	0,16
0,5	0,07	0,16
0,8	0,0625	0,14
6	0,0625	0,09

Математическая модель

Дифференциальное уравнение для определения величины продольных колебаний описывается в [4] и выглядит следующим образом:

$$\rho F \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E \frac{\partial}{\partial x} \left(F \frac{\partial u}{\partial x} \right) + f, \quad f = \nu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} F p \right) - p \frac{\partial S}{\partial x}, \quad (1)$$

с начальными условиями

$$u(0, x) = 0, \quad \left. \frac{\partial u(t, x)}{\partial t} \right|_{t=0} = 0, \quad (2)$$

и граничными условиями

$$u(t, 0) = 0, \quad \left. \frac{\partial u(t, x)}{\partial x} \right|_{x=L} = 0, \quad (3)$$

где ρ – плотность материала ствола, кг/м^3 ; F – площадь сечения ствола, м^2 ; $u = u(t, x)$ – величина продольных колебаний по временной t и пространственной x координатам; E – модуль Юнга, Па; ν – коэффициент Пуассона; p – давление в соответствующей точке канала ствола, Па; S – площадь канала ствола, м^2 ; L – длина ствола.

Представим уравнение (1) в моменты времени $n+1$, $n = \overline{1, N-1}$, в виде конечных разностей по девятиточечной схеме, при этом для более точного описания геометрии ствола F , σ , S , p будем определять в половинных точках [5]:

$$\rho F \frac{u_i^{n+1} - 2u_i^n + u_i^{n-1}}{\tau^2} = E \cdot \Lambda (\delta u_i^{n+1} - (1 - 2\delta) u_i^n + \delta u_i^{n-1}) + f_i, \quad i = \overline{1, I-1}, \quad (4)$$

где u_i^n – значение величины продольных колебаний в n -й дискретный момент времени и в i -й точке разбиения по пространству; I – число разбиений расчетной области; N – число разбиений по времени; τ – шаг по времени; h – шаг по пространству; $\delta = 0,35$ – коэффициент разностной схемы, $0 \leq \delta \leq 0,5$; Λ – разностный оператор:

$$\Delta u_i^n = \frac{F_{i+0.5} u_{i+1}^n - (F_{i+0.5} + F_{i-0.5}) u_i^n + F_{i-0.5} u_{i-1}^n}{h^2},$$

f_i – разностная аппроксимация функции f из правой части уравнения (1):

$$f_i = v \frac{R_{i+0.5} F_{i+0.5} p_{i+0.5} - R_{i-0.5} F_{i-0.5} p_{i-0.5}}{h} - p_i \frac{S_{i+0.5} - S_{i-0.5}}{h};$$

R_i – безразмерный коэффициент, определяемый из соотношения:

$$R_i = \frac{2(r_1^2)_i}{(r_2^2)_i - (r_1^2)_i}.$$

Значения продольных колебаний на границах определяются методом фиктивного узла.

Начальные значения определяются из соотношения (2):

$$u_i^0 = 0 \quad u_i^1 = u_i^0 \quad i = \overline{0, I}. \quad (5)$$

Граничные значения определяются из соотношения (3):

$$u_0^n = 0 \quad u_I^n = u_{I-1}^n \quad n = \overline{0, N}. \quad (6)$$

Краевая задача поперечных колебаний ствола при выстреле имеет вид [4]:

$$\rho F \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = -\rho F g + \frac{\partial}{\partial x} \left((F\sigma - Sp) \frac{\partial v}{\partial x} \right) - E \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(J \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right), \quad (7)$$

с начальными условиями

$$v(0, x) = 0, \quad \left. \frac{\partial v(t, x)}{\partial t} \right|_{t=0} = 0, \quad (8)$$

и граничными условиями

$$\begin{aligned} v(t, 0) = 0, \quad \left. \frac{\partial v(t, x)}{\partial x} \right|_{x=0} &= 0, \\ \left. \frac{\partial^2 v(t, x)}{\partial x^2} \right|_{x=L} = 0, \quad \left. \frac{\partial^3 v(t, x)}{\partial x^3} \right|_{x=L} &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; J – момент инерции, кг/м²;

Распишем (7) в конечных разностях по неявной схеме [5], получим:

$$\begin{aligned} \rho F \frac{v_i^{n+1} - 2v_i^n + v_i^{n-1}}{\tau^2} = -\rho F_i g + \frac{\Omega_{i+0.5} v_{i+1}^{n+1} - (\Omega_{i+0.5} + \Omega_{i-0.5}) v_i^{n+1} + \Omega_{i-0.5} v_{i-1}^{n+1}}{h^2} - \\ - E \frac{J_{i+1} v_{i+2}^{n+1} - 2(J_{i+1} + J_i) v_{i+1}^{n+1} + (J_{i+1} + 4J_i + J_{i-1}) v_i^{n+1} - 2(J_i + J_{i-1}) v_{i-1}^{n+1} + J_{i-1} v_{i-2}^{n+1}}{h^2}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\Omega_i = F_i \sigma_i - S_i p_i,$$

$$\sigma_i = E \frac{u_{i+0.5}^n - u_{i-0.5}^n}{h},$$

$$i = \overline{2, I-2}, \quad n = \overline{1, N-1}.$$

Начальные значения определяются из соотношения (8):

$$v_i^0 = 0, \quad v_i^1 = v_i^0, \quad i = \overline{0, I}. \quad (11)$$

Граничные значения определяются из соотношения (9):

$$\begin{aligned} v_0^n &= 0 & v_1^n &= v_0^n & n &= \overline{0, N}. \\ v_I^n &= v_{I-1}^n & v_{I-1}^n &= v_{I-2}^n \end{aligned} \quad (12)$$

Результаты математического моделирования

Смоделируем выстрел из гладкоствольного орудия, геометрические характеристики которого представлены в таблице, расположенного параллельно поверхности земли. Результаты моделирования колебаний ствола представлены в виде графика продольных колебаний в момент достижения волной конца ствола (рис. 1) и графика движения конца ствола при поперечных колебаниях в течение 10 сек. с момента выстрела (рис. 2).

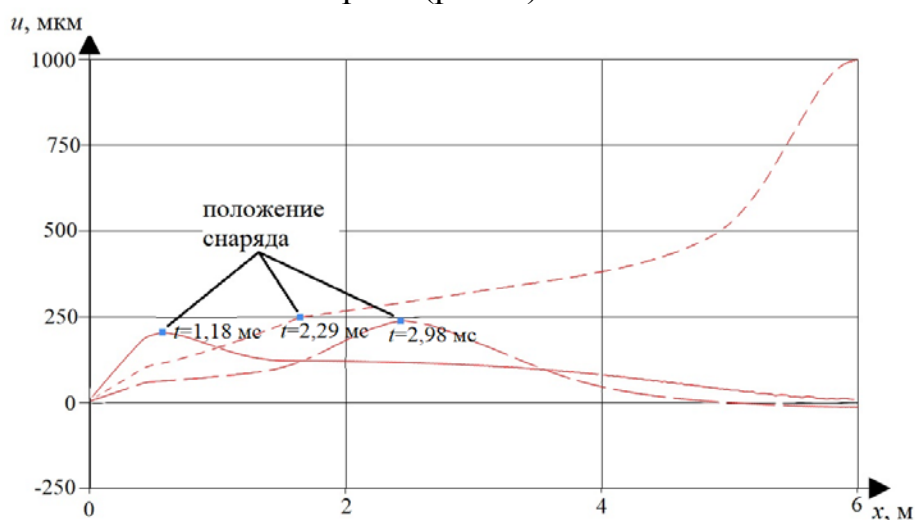


Рис. 1. Продольные колебания в момент достижения волной конца ствола

Как видно из рис. 1, волна, вызванная пороховыми газами, достигает конца ствола гораздо раньше снаряда $t = 1,18$ мс, причем своего максимального значения на конце почти в 1 мм она достигает на $t = 2,29$ мс, а отражаясь, встречает снаряд на $t = 2,98$ мс.

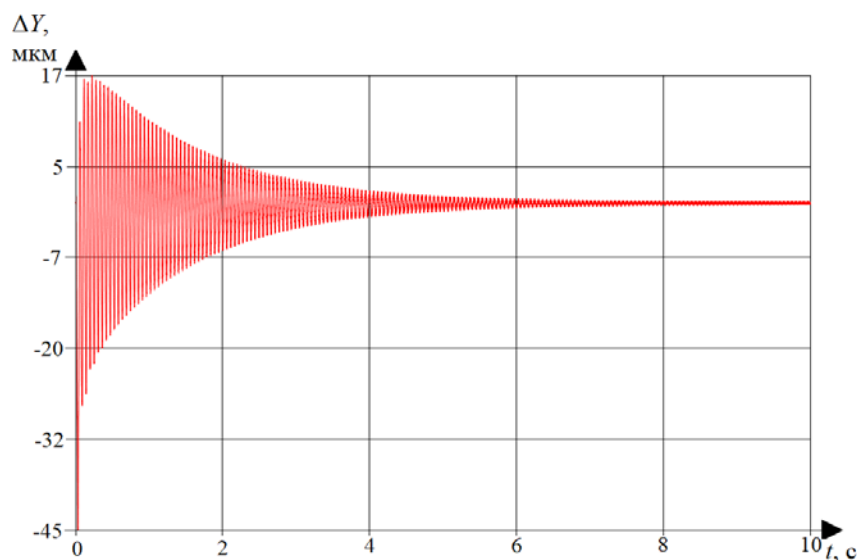


Рис. 2. Отклонение конца ствола от положения равновесия по вертикали

Из рис. 2 видно, что величина отклонения положения ствола от равновесия при поперечных колебаниях находится в диапазоне от -43 до 17 мкм, и данные колебания затухают приблизительно за 7 сек. Средняя частота колебаний при этом составила 18 Гц.

Выводы

1. Реализована в виде программно-вычислительного комплекса разностная численная схема одномерной модели колебаний стволов орудий при выстреле и найдено численное решение уравнений колебаний.

2. Исследована скорость распространения волны внутри ствола при продольных колебаниях. Показано, что волна доходит до конца ствола значительно раньше снаряда (за $t = 1,18$ мс). Отраженная волна доходит до снаряда примерно за 3 мс.

3. Проведены исследования амплитуды и скорости затухания поперечных колебаний. Численно определены максимальная амплитуда и частота колебаний, которые составили 60 мкм и 18 Гц соответственно, а затухание колебаний происходит в течение 7 сек.

Список литературы

1. Орлов, Б. В. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий / Б. В. Орлов, Э. К. Ларман, В. Г. Маликов. М. : Машиностроение, 1976. 432 с.

2. Русяк, И. Г. Физические основы и газовая динамика горения порохов в артиллерийских системах : монография / И. Г. Русяк, А. М. Липанов, В. М. Ушаков. М. ; Ижевск : Ин-т компьютерных иссл., 2016. 456 с.

3. Игнатов, А. В. Метод расчета свободных поперечных колебаний ствола автоматической пушки при заданном условии закрепления / А. В. Игнатов, С. Н. Богомолов, Н. Д. Федянин // Изв. Тульского гос. ун-та. Технические науки. 2017. Вып. 11. Ч. 2. С. 70–77.

4. Хоменко, Ю. П. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах / Ю. П. Хоменко, А. Н. Ищенко, В. З. Касимов. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1999. 256 с.

5. Самарский, А. А. Численные методы / А. А. Самарский, А. В. Гулин. М. : Наука, 1989. 432 с.

Содержание

Раздел 1. Форум научно-технического творчества молодежи АО «ИЭМЗ «Купол»

<i>Габова А. К., Закирова Р. М., Крылов П. Н., Федотова И. В.</i> Влияние газовой среды и ионно-лучевой обработки на структуру и свойства пленок оксида титана	3
<i>Егоров В. С., Хасанов Р. Р., Сяктерев М. В.</i> Модель искусственного отражателя для настройки дефектоскопа, реализующего волноводный метод контроля	10
<i>Елькин Н. Ю., Шихарев П. А.</i> Обследование участка под строительство здания магнитометрической лаборатории для регулировки и настройки высокочувствительной магнитометрической аппаратуры	15
<i>Земсков Т. И., Нуриев В. Ф., Мохов И., Морозов А. А.</i> Разработка генератора зондирующих импульсов для измерения скорости ультразвука	17
<i>Меньшиков В. А.</i> Разработка и исследование бесконтактного способа измерения торцевого профиля ротора винтового забойного двигателя с применением лазерной головки	21
<i>Мыльников К. С., Фоминых Ю. А., Струков С. А.</i> Исследование оптического и ультразвукового методов контроля посетителей	27
<i>Николаев И. С., Воронов В. В., Иванов Н. Д., Шиляев С. А.</i> Управление жизненным циклом изделия с использованием облачных технологий	32
<i>Пономарев Д. А., Меньшиков А. С., Галицын Д. А., Косарев М. А., Шиляев С. А.</i> Организационные особенности внедрения САП/PLM в условиях непрерывного усложнения современных технических средств и процессов их изготовления	35
<i>Ротарь А. В., Марков Е. М.</i> Регистрация движения глаз	39
<i>Федотов Р. И., Шиляев С. А.</i> Исследование метода, направленного на повышение точности обрабатываемых деталей на имеющемся парке станков с ЧПУ	43
<i>Черных Д. С.</i> Повышение эффективности проектирования типового теплообменного оборудования	47

Раздел 2. «Выставка инноваций – 2020»: выступления молодых ученых ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

<i>Бабинцев К. В., Титов В. В., Ламри М. А., Кайсина И. А., Абилов А. В.</i> Применение самоорганизующихся сетей в сценариях умного города	53
<i>Батова М. Д., Семенова Ю. А., Гордина А. Ф.</i> Модификация вяжущих на основе сульфатов кальция тонкодисперсными минеральными добавками	58
<i>Гильмутдинов Д. Т., Лекомцев П. В.</i> Стенд с интеллектуальной системой диагностики и определения параметров шагового электропривода	62
<i>Елкибаев Д. А.</i> Анализ методик обнаружения опасных зон СВЧ-излучения в городской среде	65
<i>Ефремов К. С., Шестаков В. А.</i> Исследование базовых маневров движения многозвенных колесных роботов	69
<i>Желтышев А. В., Шлыков Д. Г.</i> Разработка метода определения высокочастотных параметров воздушной линии с изолированной нейтралью	74
<i>Золотарев Н. А., Алиев Э. В.</i> Устранение цементитной сетки в инструментальных сталях посредством проведения термоциклической обработки	79
<i>Князева Я. О., Кисляков М. А., Симаков Н. К.</i> Армирование блоков из ячеистого бетона композитной арматурой	82
<i>Лужбина А. П., Горбадеева Д. Д., Алиев Э. В.</i> Разработка облегченного транспортного средства	86

<i>Привалова М. А., Князева Я. О., Симченко И. В.</i> Предпосылки для развития автоматизированных систем управления рисками в строительстве	89
<i>Семёнова С. Н, Шушков А. А.</i> Обзор методов прогнозирования реологических свойств нанокompозитов	92
<i>Симченко О. Л., Кривоzubова У. В., Чазов Е. Л., Сунцов А. С.</i> Устройство подземных сооружений по технологии «стена в грунте» с применением BIM-моделирования	96
<i>Суфиянов В. Г., Нефёдов Д. Г., Клюкин Д. А.</i> Результаты математического моделирования колебаний ствола при выстреле в одномерной постановке	101

Электронное научное издание

«ВЫСТАВКА ИННОВАЦИЙ – 2020» (ВЕСЕННЯЯ СЕССИЯ)

Сборник материалов XXIX Республиканской выставки-сессии
студенческих инновационных проектов
(Ижевск, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 25 апреля 2020 г.)
и Форума научно-технического творчества молодежи
АО «ИЭМЗ «Купол» (Ижевск, ИЭМЗ «Купол», 18 марта 2020 г.)

Технический редактор *С. В. Звягинцова*
Корректор *Я. В. Олина*
Верстка *Я. В. Олиной, Н. В. Паклиной*

Подписано к использованию 10.08.2020. Объем 6,02 МБ
Уч.-изд. л. 5,05. Заказ № 168

Издательство Ижевского государственного технического университета
имени М. Т. Калашникова. 426069, Ижевск, Студенческая, 7