ISSN 2411-6467

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2018.9.56

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал

№ 11 (56) / 2018

9 часть

Редакционная коллегия:
д.п.н., профессор Аркулин Т.В. (Москва, РФ)

Члены редакционной коллегии:

Артафонов Вячеслав Борисович, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологического и природоресурсного права (Москва, РФ);
- Игнатьева Ирина Евгеньевна, кандидат экономических, преподаватель кафедры менеджмента (Москва, РФ);
- Кажемаев Александр Викторович, кандидат психологических, доцент кафедры финансового права (Саратов, РФ);
- Кортун Аркадий Владимирович, доктор педагогических, профессор кафедры теории государства и права (Нижний Новгород, РФ);
- Ровенская Елена Рафаиловна, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой судебных экспертиз, директор Института судебных экспертиз (Москва, Россия);
- Селиктарова Ксения Николаевна (Москва, Россия);
- Сорновская Наталья Александровна, доктор социологических наук, профессор кафедры социологии и политологии;
- Свистун Алексей Александрович, кандидат филологических наук, доцент, советник при ректорате (Москва, Россия);
- Тюменев Дмитрий Александрович, кандидат юридических наук (Киев, Украина)
- Варкумова Елена Евгеньевна, кандидат филологических, доцент кафедры филологии (Астана, Казахстан);
- Каверин Владимир Владимирович, научный сотрудник архитектурного факультета, доцент (Минск, Белоруссия)
- Чукмаев Александр Иванович, доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права (Астана, Казахстан) (Астана, Казахстан)

Ответственный редактор
д.п.н., профессор Каркушин Дмитрий Петрович (Москва, Россия)

Международные индексы:

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
г. Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия
E-mail: info@euroasia-science.ru ; www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии г. Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА С ДОБАВКАМИ ПОЛИАКРИЛАТОВ

Абобакирова З.А.
Ферганский политехнический институт

АННОТАЦИЯ. В статье приведены данные обоснования рациональной методики определения относительных деформаций бетона с добавками.

Ключевые слова: цементный бетон, повышение деформативности полиакрилатами, методика испытания, кратковременные нагрузки, коэффициент поперечной деформации, изменения относитенльных деформаций бетона.

ANNOTATION. The article presents the data substantiation of rational methods for determining the relative deformation of concrete with additives.

Keywords: cement concrete, increasing the deformability of polyacrylates, test method, short-term load, the coefficient of transverse deformation, changes in the relative deformation of concrete.

В современной практике для модифицирования структуры цементного камня актуально применение добавок полиакрилатов [1]. В сухие смеси их можно вводить в виде водной дисперсии. После укладки бетонной смеси вследствие частичного испарения воды и активно идущих гидратационных процессов концентрация полимерной дисперсии возрастает, и на ее основе формируются полимерные пленки, в том числе – на поверхности бетона. В результате блокируется испарение воды и тем самым создаются условия для наиболее полной гидратации цемента, снижения усадки.

Пространственная система полимерных пленок (мембран), которая образуется внутри цементного камня, увеличивает его прочность при растяжении и служит микродемпфирующим элементом, повышающим износостойкость и облегчающим релаксационные процессы в твердеющей системе.

Изучено влияние добавок полиакрилатов (К-9) на относительные деформации бетона в зависимости от расхода цемента, вида и дозировки добавки. Деформативность бетона была изучена путем осевого сжатия образцов-призм 10x10x40 см, твердевших при температуре 20+2^0 С и относительной влажности воздуха 75-80%, с определением деформаций на каждой ступени нагружения электронным измерителем.

Предварительно было также изучено влияние на деформации бетона ступенчатого загружения с кратковременным остановками (15-20см); с выдержкой на каждой ступени напряженного состояния от 2 до 12 мин; с многократными загружениями на каждой ступени. Установлено, что вид загружения существенно не влияет на величину деформаций.

На подготовленную поверхность бетонных призм клеем 192-Т приклеивали тензодатчики с базой 50 мм, которые подключали к электронному измерителю. Деформации при сжатии определяли продольными и поперечными датчиками, наклеенными в средней части каждой боковой грани, а деформации на растяжение при изгибе – двумя датчиками, расположенными со стороны растянутых и сжатых зон.

При проведении испытаний на сжатие образцы-призмы центрировали с помощью продольных тензодатчиков под нагрузкой 2 т. После центрирования призмы нагружали последовательно ступенями до разрушения. Фактическая величина ступеней нагружения создавала напряжение в бетоне равное 0,1 $R_{разр}$. На каждой ступени давали выдержки, необходимые для снятия отсчетов по приборам. При испытании на растяжение в момент изгиба нагружение балочек вели двумя сосредоточенными силами, расположенными в третях пролёта.

При этом для исследования процесса микроразрушения в бетоне на боковых гранях призмы устанавливали регистрирующие головки ультразвукового прибора УКБ-1.

Принятая методика испытания кратковременной нагрузкой позволила определить продольные и поперечные относительные деформации, выявить изменение дифференциального коэффициента поперечной деформации $\Delta\gamma$, установить по моменту падения скорости распространения ультразвуковых импульсов границы начала микроразрушения R_T° и микротрещинообразования R_T^{γ}.

Процесс изучения внутреннего напряженного состояния образцов при нагрузке проводили по методике О.Я.Берга, изложенной в [2,3]. В соответствии с методикой для оценки физической сущности явлений, вызывающих напряжения, необходимо вычислять коэффициент поперечной деформации не по значениям самих деформаций, а по приращениям $\Delta\varepsilon$. Кривая $\Delta\gamma$ будет характеризовать фактическое изменение поперечной деформации и соответствующее изменение объёма. Величина $\Delta\gamma$ называется дифференциальным коэффициентом поперечной деформации и характеризуется зависимостью:

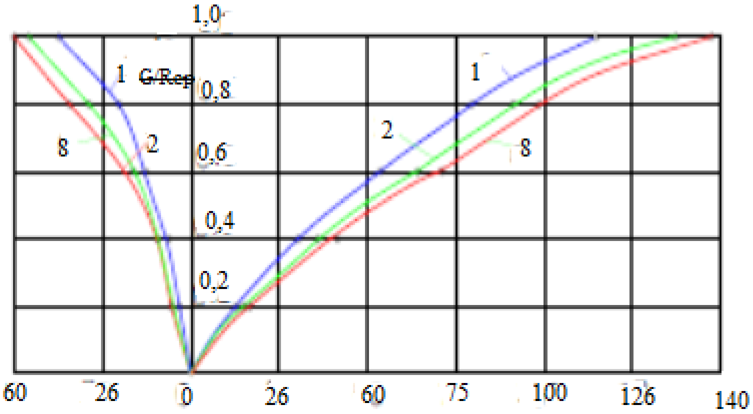
$$\Delta\gamma = \frac{\Delta\varepsilon_1}{\Delta\varepsilon_2}, \qquad (1)$$

где $\Delta\varepsilon_1$ и $\Delta\varepsilon_2$ соответственно приращения относительных продольных и поперечных деформаций на каждой ступени приращения нагрузки ΔP. Приращение объёма образца ΔQ, соответствующее данному физическому процессу, вытекает из условия:

$$\Delta Q = \Delta\varepsilon_1 - 2\Delta\varepsilon_2 \qquad (2)$$

Процесс образования и развития микротрещин по данным исследования О.Я.Берга свидетельствует, что материал проходит три стадии: уплотнение, разуплотнение и разрушение [3]. При этом стадия уплотнения характеризуется почти полным постоянством модуля упругости бетона E и $\Delta\gamma$. Увеличение нагрузки вызывает рост поперечных деформаций и $\Delta\gamma$ отклоняется от первоначального значения. Этот момент рассматривается как начало микроразрушения. После достижения нижней границы микроразрушения R_T°, дифференциальный коэффициент $\Delta\gamma$ начинает увеличиваться более интенсивно. При $\Delta\gamma = 0{,}5$ происходит наибольшее сокращение объёма образца, что характеризует верхнюю условную границу микротрещикообразования. Переход от разуплотнения (разрыхления) структуры к микроразрушениям и микротрещинам происходит в интервале R_T° и R_T^{γ} .

Поперечные (слева) и продольные относительные деформации бетонов при сжатии



E_px10^{-6} E_cx10^{-6}

Рис.1. 1 – бетон без добавки;
бетон с доб. 0,005 К-9; 3 – бетон с доб.0,003 К-9

Относительные деформации растяжения бетона при изгибе

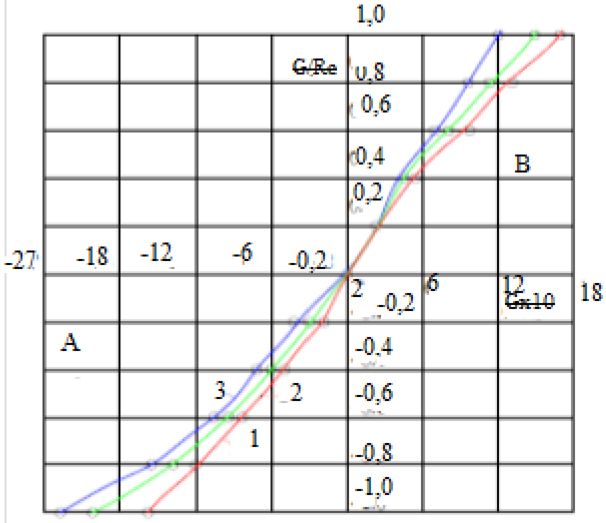


Рис.2. А- растянутая зона; В – сжатая зона; 1 – бетон без добавки;
2 - с доб. 0,005 К-9; 3 - с доб. 0,003 К-9

На рис.1 и 2 показаны изменения относительных деформаций разных составов бетона при действии кратковременных нагрузок. Как видно из приведенных данных, предельные относительные деформации бетона с добавкой полиакрилата в растянутой зоне больше на 13-18 и 22-28%, а на растяжение при изгибе –11-22 и 20-31%, чем у бетонов без добавок. Деформации в сжатой зоне бетонов с добавками соответственно на 3-10 и 15-22% выше по сравнению с обычным бетоном.

Повышенная деформативность бетона с добавкой полиакрилатов объясняется её демпфирующим свойством за счет утолщенных адсорбционных слоев, являющихся клеевыми прослойками между кристаллогидратами цементного камня.

Таким образом, принятая методика испытания кратковременной нагрузкой позволила выявить изменение дифференциального коэффициента поперечной деформации $\Delta\gamma$ и установить границы начала микроразрушения R_T° и микротрещинообразования R_T^{γ}, а также определить положительное воздействие добавок полиакрилатов на деформативные свойства бетона, что способствует повышению стойкости бетона в агрессивных средах.

Список литературы

[1]. www.portol.spp ru/city/index.pht/2.

[2].Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М., 1971, 126 с.

[3].Берг О.Я., Хромец Ю.И. Влияние длительного загружения на прочность и деформативные свойства бетонов.//Труды ЦНИПС. М., Транспорт, 1966, вып.60, с.12-13.

УДК 656.135.073

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ЗАДЕРЖКИ ВЕБСТЕРА

Георгий Д. Антониади, Владимир О. Архипов, Александр А. Цуприков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «КубГТУ»), Россия, 350072, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, 2.

РЕЗЮМЕ. Цель. Рассмотрена модель задержки автотранспорта на регулируемом перекрёстке Ф.В. Вебстера, проанализирован физический смысл составляющих модели, определена значимость (вес, количественный вклад) параметров в величину задержки транспорта при запрещающем сигнале светофора. Проанализированы недостатки модели при её использовании для управления сигналами светофора.

Методы. Анализ проводился методом расчёта числовых значений параметров, определения физического смысла составляющих модели, использовался метод чувствительности функции к варьированию её параметров.

Результаты и их обсуждение. Случайная и корректирующая составляющие модели практически не влияют на длительность задержки автотранспорта перед перекрёстком. Варьирование интенсивности прибытия и плотности загрузки подъезда в пределах до уровня образования очереди не изменяет значение задержки транспорта. Модель не работает в условиях насыщенного потока транспорта с очередями. Наиболее значимым параметром функции задержки является уровень загрузки подъезда, его вклад в задержку в среднем составляет 43,64 %, на втором месте идёт длительность разрешающего сигнала светофора с вкладом 29,18%, третье место занимает время цикла – 20,98%, четвёртое – интенсивность прибытия – 6,19%.

Выводы. Модель Вебстера применима только в условиях ненасыщенного потока при отсутствии очереди**,** наиболее важным её параметром является уровень загрузки подъезда, а интенсивность прибытия транспорта, случайная и корректирующая составляющие модели практического значения не имеют.

Ключевые слова: модель задержки проезда, Вэбстер, светофор, очередь, значимость параметров, перекрёсток.

ANALYSIS OF THE WEBSTER DELAY MODEL

George D. Antoniadi, Vladimir A. Arkhipov, Alexander A. Tsouprikov

Federal state budgetary educational institution of higher education "Kuban state technological University" (FSBEI HE "KubSTU"), Russia, 350072, Krasnodar Krai, Krasnodar, Moskovskaya str., 2

SUMMARY. Purpose. We considered a model of delay of vehicles on a regulated intersection F. V. Webster, analyzed the physical meaning of the components of the model, the importance (weight, quantity contribution) parameters in magnitude in the absence of support for transport in prohibiting the traffic signal. Analyzed the shortcomings of the model when it is used to control traffic lights.

Methods. The analysis was carried out by calculating the numerical values of the parameters, determining the physical meaning of the components of the model, using the method of sensitivity of the function to the variation of its parameters.

Results and their discussion. Random and corrective components of the model do not affect the duration of the delay of vehicles before the intersection. Varying the intensity of arrival and load density of the entrance within the level of formation of the queue does not change the value of the delay of transport. The model does not work in a saturated traffic flow with queues. The most significant parameter of the delay function is the level of loading of the entrance, its contribution to the delay on average is 43.64 %, in second place is the duration of the resolving signal of the traffic light with a contribution of 29.18%, the third place is the cycle time – 20.98%, the fourth – the intensity of arrival – 6.19%.

Conclusions. The Webster model is applicable only in conditions of unsaturated flow in the absence of a queue, its most significant parameter is the level of loading of the entrance, and the intensity of the arrival of transport, random and correcting components of the model have no practical value.

Key words: model, delays of travel, Webster, lights, turn, the significance of the parameters, intersection.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросам задержки транспортных средств (ТС) перед стоп-линией перекрёстка посвящено множество учебной и научной литературы [1-4,7,11-14 и др.]. Распространённая приближённая модель задержки Ф.В. Вебстера принята в качестве нормативной [5,6], она основана на сочетании теоретического анализа и численного моделирования, однако на практике может давать не достоверные результаты. Поэтому представляет интерес рассмотрение физического смысла каждой составляющей модели, их влияние на задержку транспорта, связь с другими характеристиками перекрёстка, а также определение вклада каждого параметра модели в значение величины задержки.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследовании модели использовалось два метода:

1. Метод численного моделирования - произведены расчёты всех параметров и составляющих модели, а также самой задержки для реальных практических условий работы перекрёстка. Расчёты выполнены для определения численного значения каждой составляющей модели, их количественной величины в составе функции задержки.

2. Метод чувствительности относительных погрешностей [9,10] - позволяет находить значимость каждого параметра для функции задержки (их "веса", вклада в величину задержки).

Модель Ф.В. Вебстера имеет вид[14]:

$$d=\frac{c(1\text{ - }g/c)^2}{2[1\text{ - }(g/c)x]}+\frac{x^2}{2q(1-x)}-0{,}65\left(\frac{c}{q^2}\right)^{\frac{1}{3}}x^{2+5(\frac{g}{c})} \quad (1)$$

где:

d– средняя задержка одного ТС за цикл, с;

c - длина цикла регулирования, с;

g - эффективная длительность зеленого сигнала, с;

q – интенсивность прибытия ТС, авт./с;

x- степень насыщения направления движения (уровень загрузки подхода), авт.

Модель (1) содержит три составляющих. Первая определяет задержку при условии стационарности прибытия транспортного потока, вторая - так называемая «случайная задержка»- представляет случайную составляющую процесса. Она предполагает пуассоновский процесс прибытия ТС и постоянную интенсивность их разъезда, соответствующую пропускной способности перекрёстка. Третья составляющая корректирует величину времени задержки и составляет порядка 1 - 10% процентов от суммы первых двух.

Пропускную способность перекрёстка, которой должна соответствовать постоянная интенсивность разъезда ТС, можно определить следующим способом. Согласно [4,6,7] при оценке практической пропускной способности в конкретных дорожных условиях рекомендуется использовать уравнение:

$$P = \beta P_{max}$$

где

β - итоговый коэффициент снижения пропускной способности, равный произведению частных коэффициентов β_1, β_2, β_3,...., β_{14}, которые учитывают полосность дороги, наличие и ширину обочины, количество поворачивающих на перекрёстке ТС, наличие препятствий и др., изменяются в пределах от 0,7 до 1,0, их произведение в среднем составляет 0,85.

P_{max} = 2100 – 4000 авт/ч, - максимальная практическая пропускная способность легковых автомобилей, зависит от числа полос на полотне.

Для практических расчётов можно принять P_{max} = 2200 авт/ч, тогда P = 0,85P_{max}= 1850 авт/ч или 0,51 авт/с.

Первая составляющая. Отношение g/c показывает долю зелёного сигнала g в полном цикле c, (1 - g/c) – это доля запрещающего сигнала в цикле, числитель $c(1\text{ - }g/c)^2$ соответствует времени квадрата доли запрещающего сигнала в цикле, с.

В знаменателе составляющая (g/c)x показывает, на сколько изменяется загрузка подхода (подъезда ТС к перекрёстку) за долю зелёного сигнала в цикле, [1- $(g/c)x$] – то же, но за долю запрещающего сигнала светофора.

В целом первая составляющая соответствует половине времени изменения загрузки полотна (очереди) за время запрещающего сигнала светофора.

Вторая составляющая показывает изменение квадрата относительной плотности подъехавших машин в очереди x по отношению к остаточной плотности ($1 – x$) – не подъехавших, которая возникает при интенсивности прибытия q.

В целом вторая составляющая соответствует половине времени образования относительной плотности машин в очереди (в квадрате) по отношению к относительной плотности не подъехавших к перекрёстку машин при интенсивности q. В этом проявляется случайность задержки, т.к. она может сформироваться или не сформироваться при конкретных интенсивностях q и полосности дороги.

Третья составляющая уменьшает общее время задержки ТС для его корректировки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ МОДЕЛИ ВЕБСТЕРА ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕАЛЬНОГО ПЕРЕКРЁСТКА

Для получения численных значений длительность задержки по модели (1) была просчитана на реальных данных проезда перекрёстка при следующих параметрах: время цикла c = 240 с, интенсивность прибытия q = 2авт/с, относительная плотность машин при подходе x = 0,8.

В таблице 1 рассчитано время задержки в очереди ТС в функции времени запрещающего сигнала светофора c - g, с.

В правой части таблицы 1 приведены количественные значения всех трёх слагаемых модели (1).

Таблица 1 Время задержки dи значения составляющих модели
Table 1 The delay time d and the values of the components of the model

d, с	c, с	g, с	c - g, с	q, авт/с	x, авт	1-е	2-е	3-е
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,27	240	240	0	2	0,8	0,000	0,8000	0,5337
1,49	240	228	12	2	0,8	1,250	0,8000	0,5643
4,49	240	216	24	2	0,8	4,286	0,8000	0,5966
8,61	240	204	36	2	0,8	8,438	0,8000	0,6309
13,47	240	192	48	2	0,8	13,333	0,8000	0,6671
18,84	240	180	60	2	0,8	18,750	0,8000	0,7053
24,60	240	168	72	2	0,8	24,545	0,8000	0,7458
30,64	240	156	84	2	0,8	30,625	0,8000	0,7886
36,89	240	144	96	2	0,8	36,923	0,8000	0,8338
43,31	240	132	108	2	0,8	43,393	0,8000	0,8817
49,87	240	120	120	2	0,8	50,000	0,8000	0,9323
56,53	240	108	132	2	0,8	56,719	0,8000	0,9857
63,29	240	96	144	2	0,8	63,529	0,8000	1,0423
70,11	240	84	156	2	0,8	70,417	0,8000	1,1021
77,00	240	72	168	2	0,8	77,368	0,8000	1,1653
83,94	240	60	180	2	0,8	84,375	0,8000	1,2322
1	2	3	4	5	6	7	8	9
90,93	240	48	192	2	0,8	91,429	0,8000	1,3029
97,95	240	36	204	2	0,8	98,523	0,8000	1,3776
105,00	240	24	216	2	0,8	105,652	0,8000	1,4567
112,07	240	12	228	2	0,8	112,813	0,8000	1,5402
118,58	240	1	239	2	0,8	119,400	0,8000	1,6210

График функции задержки ТС от времени запрещающего сигнала светофора, построенный по данным таблицы 1, приведён на рисунке 1.

Рис. 1. Зависимость времени задержки ТС от сигналов светофора
Fig. 1.thedependenceofthetimedelayTCfromthetrafficsignals

График показывает, что при увеличении длительности запрещающего сигнала светофора время задержки транспорта растёт по слабо выраженному экспоненциальному закону.

Для определения количественного влияния на d интенсивности q и степени загрузки подхода x таблица 1 пересчитывалась при различных значениях q и x. При увеличении интенсивности с величины q =2 авт/с до q = 100 авт/с, (т.е. в 50 раз) время задержки увеличилось на 0,7 сек (с 118,58 до 119,30 сек), второе слагаемое модели уменьшилась с 0,8 до 0,016, а третье – с 1,62 до 0,119 (таблица 2).

Таблица 2 Время задержки d при больших q и значения составляющих модели
Table 2 Delay time d at high q and values of the model components

d, с	c, с	g, с	c - g, с	q, авт/с	x, авт	1-е	2-е	3-е
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,02	240	240	0	100	0,8	0,000	0,0160	0,0393
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,22	240	228	12	100	0,8	1,250	0,0160	0,0416
4,26	240	216	24	100	0,8	4,286	0,0160	0,0440
8,41	240	204	36	100	0,8	8,438	0,0160	0,0465
13,30	240	192	48	100	0,8	13,333	0,0160	0,0492
18,71	240	180	60	100	0,8	18,750	0,0160	0,0520
24,51	240	168	72	100	0,8	24,545	0,0160	0,0550
30,58	240	156	84	100	0,8	30,625	0,0160	0,0581
36,88	240	144	96	100	0,8	36,923	0,0160	0,0614
43,34	240	132	108	100	0,8	43,393	0,0160	0,0650
49,95	240	120	120	100	0,8	50,000	0,0160	0,0687
56,66	240	108	132	100	0,8	56,719	0,0160	0,0726
63,47	240	96	144	100	0,8	63,529	0,0160	0,0768
70,35	240	84	156	100	0,8	70,417	0,0160	0,0812
77,30	240	72	168	100	0,8	77,368	0,0160	0,0859
84,30	240	60	180	100	0,8	84,375	0,0160	0,0908
91,35	240	48	192	100	0,8	91,429	0,0160	0,0960
98,44	240	36	204	100	0,8	98,523	0,0160	0,1015
105,56	240	24	216	100	0,8	105,652	0,0160	0,1073
112,72	240	12	228	100	0,8	112,813	0,0160	0,1135
119,30	240	1	239	100	0,8	119,400	0,0160	0,1194

Изменение уровня загрузки x с 0,8 до 0,1 практически не отражается на величине задержки (d = 119,03), но уменьшает значения второй и третьей составляющих модели (1) до второго - третьего знака после запятой – см. таблицу 3.

При $x \geq 1$ величина задержки d стремится к бесконечности, т.е. модель не работает при перенасыщенных потоках автотранспорта с образованием очередей.

Таблица 3 Время задержки d при малых x и значения составляющих модели
Table 3 Delay time d at small x and values of the model components

d, с	c, с	g, с	c - g, с	q, авт/с	x, авт	1-е	2-е	3-е
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00	240	240	0	2	0,1	0,000	0,0028	0,0000
0,33	240	228	12	2	0,1	0,331	0,0028	0,0000
1,32	240	216	24	2	0,1	1,319	0,0028	0,0000
2,95	240	204	36	2	0,1	2,951	0,0028	0,0000
5,22	240	192	48	2	0,1	5,217	0,0028	0,0000
8,11	240	180	60	2	0,1	8,108	0,0028	0,0000
11,62	240	168	72	2	0,1	11,613	0,0028	0,0000

15,72	240	156	84	2	0,1	15,722	0,0028	0,0000
20,43	240	144	96	2	0,1	20,426	0,0028	0,0000
25,72	240	132	108	2	0,1	25,714	0,0028	0,0000
31,58	240	120	120	2	0,1	31,579	0,0028	0,0001
38,01	240	108	132	2	0,1	38,010	0,0028	0,0001
1	2	3	4	5	6	7	8	9
45,00	240	96	144	2	0,1	45,000	0,0028	0,0003
52,54	240	84	156	2	0,1	52,539	0,0028	0,0005
60,62	240	72	168	2	0,1	60,619	0,0028	0,0008
69,23	240	60	180	2	0,1	69,231	0,0028	0,0014
78,37	240	48	192	2	0,1	78,367	0,0028	0,0025
88,02	240	36	204	2	0,1	88,020	0,0028	0,0045
98,18	240	24	216	2	0,1	98,182	0,0028	0,0080
108,83	240	12	228	2	0,1	108,844	0,0028	0,0143
119,03	240	1	239	2	0,1	119,052	0,0028	0,0243

Таким образом:

- вторая и третья составляющие модели Вебстера практически не влияют на длительность задержки автотранспорта перед перекрёстком;
- варьирование q и x в широких пределах не изменяет значение d, графики рисунка 1 практически не изменяются;
- при насыщенном потоке транспорта ($x \geq 1$) модель становится не работоспособной.

Для более полного определения влияния аргументов функции $d= f(c, g, q, x)$ на её величину проведём анализ чувствительности функции (1) к изменению аргументов - параметров c, g, q, x.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ЗНАЧИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАДЕРЖКИ

В [9,10] приводится метод определения количественного вклада (значимости, ценности, веса) каждого параметра дифференциируемой функции $u = f(x,y,z,...)$ в величину функции u, разработанный на основе теорий чувствительности и погрешностей [8]. Метод основан на связи относительных погрешностей функции δu и её параметров $\delta x, \delta y, \delta z$, …, которая имеет вид:

$$\delta u = \frac{1}{u}\left(x\left|\frac{\partial u}{\partial x}\right|\delta x + y\left|\frac{\partial u}{\partial y}\right|\delta y + z\left|\frac{\partial u}{\partial z}\right|\delta z + ... \right)$$

или

$$\delta u = K_x\cdot \delta x + K_y\cdot\delta y + K_z\cdot\delta z + \ldots, \tag{2}$$

где:

$$K_x = \frac{x}{u}\left|\frac{\partial u}{\partial x}\right|;\ K_y = \frac{y}{u}\left|\frac{\partial u}{\partial y}\right|;\ K_z = \frac{z}{u}\left|\frac{\partial u}{\partial z}\right|;\ \ldots$$

- коэффициенты влияния (значимости) соответствующих аргументов x, y, z, … на функцию u.

При задании всем аргументам x, y, z, … одинаковой единичной погрешности (δi= 1%) можно определить, на сколько процентов изменится величина δu при однопроцентном изменении каждого из параметров.

Для упрощения расчётов третьей составляющей модели (1) можно пренебречь, поскольку численное моделирование показало несущественность её вклада в общую величину задержки.

Для определения частных производных функции d по параметрам c, g, q и x нужно преобразовать функцию (1)в более однородную структуру, т.е. раскрыть скобки:

$$d=\frac{2c^2q - 2c^2qx - 4cqg + 4gcqx + 2g^2q - 2qg^2x + 2x^2 - 2gx^3}{4cq - 4cqx - 4gqx + 4gx^2q}$$

и взять от неё частные производные по каждому из параметров c, g, q и x. Затем определяются коэффициенты значимости K_i, по каждому параметру в различные моменты времени сигнала светофора и находится процентный вклад каждого параметра в величину задержки *d*.

Результаты расчётов слагаемых $K_i \cdot \delta i$ уравнения чувствительности (2) для каждого параметра приведены в таблице 4 (средние данные в последней строке), по которой построены графики изменения влияния аргументов модели (1) на задержку *d* в функции времени - рисунок 2.

Таблица 4 Вклад аргументов c, g, q и хв величину функции d
Table 4 Contribution of arguments c, g, q and x to the value of function d

t, с	*c*, %	*g*, %	*x*, %	*q*,%
1	2	3	4	5
1	29,51	0,39	61,38	8,71
12	28,30	4,47	58,87	8,36
24	27,09	8,56	56,35	8,00
36	25,98	12,31	54,04	7,67
48	24,96	15,77	51,90	7,37
60	24,01	18,97	49,94	7,09
72	23,13	21,93	48,11	6,83
84	22,32	24,68	46,41	6,59
96	21,56	27,25	44,83	6,36
108	20,85	29,64	43,36	6,15
120	20,18	31,89	41,97	5,96
132	19,56	33,99	40,68	5,77
144	18,97	35,97	39,46	5,60
156	18,42	37,83	38,31	5,44
168	17,90	39,59	37,23	5,28
180	17,41	41,25	36,20	5,14
192	16,94	42,82	35,23	5,00
204	16,50	44,32	34,32	4,87
216	16,08	45,73	33,44	4,75
228	15,68	47,07	32,61	4,63
240	15,30	48,35	31,83	4,52
Среднее	20,98	29,18	43,64	6,19

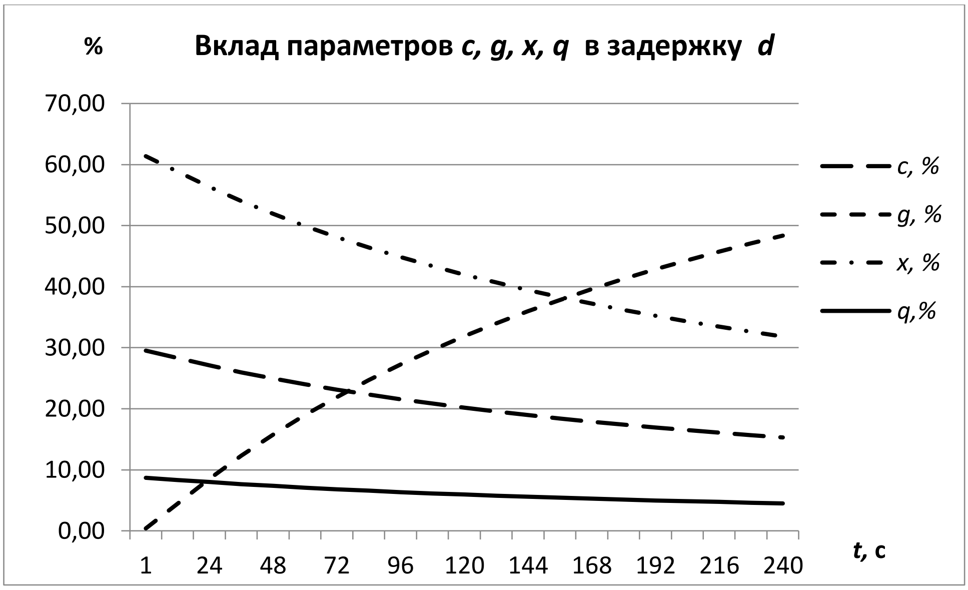


Рис. 2. Влияние параметров модели на величину задержки
Fig. 2. Influence of model parameters on the delay value

Таким образом, наиболее значимым параметром для функции задержки является x - уровень загрузки подъёзда ТС к перекрёстку, его вклад в значение d в среднем составляет 43,64 %, на втором месте идёт g - длительность разрешающего сигнала светофора, его вес для функции d равен 29,18%, третье место занимает время цикла c – 20,98%, четвёртое – интенсивность прибытия q – 6,19%.

ВЫВОДЫ

1. При увеличении длительности запрещающего сигнала светофора время задержки транспорта растёт по экспоненциальному закону. Это справедливо и для других моделей задержки.
2. Основную роль в модели Вебстера играет первая составляющая, её доля доходит до 99%, т.е. второй и третьей составляющими на практике можно пренебречь без потери достоверности модели.
3. Недостатками модели является её практическая нечувствительность к изменению интенсивности прибытия транспорта и плотности загрузки подъезда ТС перед перекрёстком, а также неработоспособность в условиях насыщенного транспортного потока с образованием очереди.
4. Наибольшее влияние на величину задержки оказывает уровень загрузки подъезда (44%), далее идут время зелёного сигнала (29%), время цикла (21%) и интенсивность прибытия транспорта к перекрёстку (6%)

Основной вывод: модель Ф.В. Вебстера не пригодна для управления дорожным движением при перегрузках транспортной сети в виде очередей и заторов, что является актуальным, особенно в часы пик.

Список литературы

1. Андронов, Р.В. Леверенц Е.А. Расчёт методом Монте-Карло задержек транспортных средств на изолированном регулируемом пересечении при его работе на высоких уровнях загрузки // Вестник гражданских инженеров. 2017. №1 (60). С.221- 226.
2. Буре, В. М., Елфимов А. Н., Карелин В. В. Стационарные циклы в детерминированной системе обслуживания // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2018. Т. 14. Вып. 1. С. 40–50. https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2018.105
3. Горев, А.Э. Транспортное моделирование : учеб. Пособие для студ. направления подготовки 190700: Технология транспортных процессов / А.Е. Горев, К. Бёттгер, А.В. Прохоров, Р.Р. Гизатуллин – СПб.: СПб. Гос. архит.-строит. Ун-т, 2014, - 182 с.
4. Крылатов, А. Ю. Оптимальные стратегии управления пропускной способностью маршрутов транспортной сети // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2017. Т. 13. Вып. 2. С. 182–192. DOI: 10.21638/11701/spbu10.2017.205
5. ОДМ 218.6.003-2011 Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. –М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. -69 с.
6. ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорогhttp://docs.cntd.ru/document/1200092512
7. Пропускная способность перекрёстка. [Электронный ресурс]. URL: http://waksman.ru/Russian/Vehi/shel/39.htm, (дата обращения: 2013-04-17).
8. Румшиский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента : справочное руководство / Л.З. Румшиский. –М.: Наука, 1971. – 192 с.
9. Цуприков, А.А. Чувствительность показателей механического бурения к изменению параметров управления / А.А. Цуприков // Сборник материалов НТВ СПбГПУ. –СПб. : Изд – во Политехн. ун-та, 2009. – №3 (80). – С. 4-8.
10. Цуприков, А.А. Определение влияния точности измерения параметров бурения на чувствительность показателей процесса / А.А. Цуприков // Сборник материалов НТВ СПбГПУ. –СПб. : Изд – во Политехн. ун-та, 2009. – №3 (80). – С. 14 - 18.
11. Фаттахова, А.В. Теориятранспортныхпроцессовисистем: методическиеуказания / А.В. Фаттахова, Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 71 с.
12. Beckmann, M. J., McGuire C. B. and Winsten C. B., Studies in the Economics of Transportation, Yale University Press, 1956.
13. Khamitova, A. D. Characteristic polynomials for a cycle of non-linear discrete systems with time delays. Vestnik of Saint Petersburg University. Series 10. Applied mathematics. Computer science. Control processes, 2016, issue 4, pp. 104–115. DOI: 10.21638/11701/spbu10.2016.410
14. Webster, F. V. Traffic Signal Settings. Road Research Laboratory Technical Paper No. 39, HMSO, London, 1958.

УДК 656.135.073
UDC 656.135.073

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ РАЗРЕШАЮЩЕГО СИГНАЛА СВЕТОФОРА

DEFINITION OF THE MINIMUM TIME OF THE ALLOWING SIGNAL OF THE TRAFFIC LIGHT

Антониади Георгий Дмитриевич
Antoniadi George D.
Архипов Владимир Олегович
Arkhipov Vladimir O.
Цуприков Александр Александрович
Tsouprikov Alexander A.

Рассмотрены с интервалом 0, 2 сек. процессы, происходящие при проезде перекрёстка очередью транспортных средств от стоп-линии до достижения скорости 60 км/ч – фазы разгона и основная, скорость, ускорение, положение на полотне перекрёстка, интенсивность движения. Разработана методика определения минимального времени разрешающего сигнала светофора. Рассчитана минимальная длительность включения разрешающего сигнала светофора для схемы конкретного перекрёстка, его зависимость от различных факторов.

Considered with an interval of 0, 2 seconds. the processes occurring when the intersection of vehicles from the stop line passes to the speed of 60 km / h - the acceleration phase and the main, speed, acceleration, position on the intersection web, traffic intensity. A procedure for determining the minimum time of the traffic light. The minimum duration of switching on of the allowing signal of the traffic light for the scheme of the concrete intersection, its dependence on various factors is calculated.

Ключевые слова: проезд перекрёстка, очередь, разрешающий сигнал светофора, скорость, интенсивность движения.
Key words: crossing, queue, traffic light signal, speed, traffic intensity.

Пропускная способность перекрёстка зависит не только от его геометрии - ширины пересекаемой дороги (количества её полос), направления движения (прямое пересечение или поворот-разворот), расположение стоп-линии относительно начала пересечения, но и от длительности разрешающего сигнала светофора.

Разработанные модели задержки транспортных средств (ТС) на перекрёстке дают достаточно общую картину поведения автомобилей при подъезде и пересечении перекрёстка для различных циклов регулирования - скорость их прибытия и разъезда, образование очереди и т.п. Целью исследования является поведение единицы ТС при проезде перекрёстка и обоснование минимального промежутка времени для разрешающего сигнала светофора

Рассмотрим поведение одного автомобиля, стоящего первым в очереди перед стоп-линией. При включении зелёного сигнала светофора он начинает движение по перекрёстку, которое содержит две фазы – фазу разгона (страгивание с места, набор скорости) и основную фазу (равномерное движение с разрешённой скоростью). Предполагается, что другие препятствия (сужение дороги, объезд места ремонтных работ и т.п.) на перекрёстке отсутствуют.

Основным уравнением транспортного потока [2] является соотношение между скоростью движения V, интенсивностью q и плотностью потока ρ:

$$q = V\rho;$$

где ρ - плотность транспортного потока, т.е. количество автомобилей, приходя-щихся на единицу длины однородного по транспортно-эксплуатационным характеристикам участка дороги, обычно на 1 км.

q –интенсивность движения, т.е. количество автомобилей, проходящих через сечение дороги в единицу времени, обычно секунду, минуту, час, сутки.

Таким образом, чем выше плотность транспортного потока и ниже его интенсивность, тем ниже будет общая скорость движения. Это приводит к образованию транспортных задержек и заторов (очередей, «пробок») на дорогах.

Если заторы на перегонах вызываются естественными причинами (плотность автомобилей на полотне превышает её пропускную способность) и наблюдаются, в основном, в часы «пик», то светофор является искусственной преградой, действующей чаще всего круглосуточно.

Как известно, цикл работы светофора состоит из трёх фаз: разрешающий сигнал (зелёный), предупреждающий (жёлтый) и запрещающий (красный). Если переключать сигналы светофора часто, например, зелёный и красный менять через 15-20 сек., то автомобили будут двигаться только в фазе разгона, т.е. на малой скорости, в режиме «взлёт - посадка» и пропускная способность перекрёстка будет низка.

Максимальная интенсивность движения через перекрёсток достигается только при скорости 60 км/ч (допустимой для городских условий), т.е. после фазы разгона, когда автомобиль проходит перекрёсток уже на большой, транспортной скорости. При этом интенсивность разгрузки полотна (количество проезжающих автомобилей в секунду) становится наибольшей, а плотность затора перед перекрёстком (число машин на единицу длины полотна) быстро уменьшается.

Длительность этой фазы ограничивается только режимом работы светофора – в часы пик сигналы переключаются часто (примерно через 2-4 мин. для 3-4-х полосного направления дороги в каждую сторону и от 0,5 до 2 мин. для пересекающего1-2-х полосного), при этом время включения выбирается пропорциональным числу полос на пересекаемых дорогах, в другие часы светофор переключается реже или переводится на желтый мигающий сигнал. В интеллектуальных светофорных системах сигнал на переключение определяется очередью на пересекающей дороге - если её нет или она мала, то разрешающая фаза продолжается. Чем больше она будет длиться, тем большее число ТС будет пропущено через перекрёсток в прямом направлении.

Однако, минимальное время работы зелёного сигнала светофора должно определяться длительностью как фазы разгона транспортного средства (ТС), так и основной фазой в любое время суток и при любых очередях.

Цель исследования – определить минимальную длительность зелёного сигнала светофора в цикле его работы.

При расчёте регулирования транспортных потоков на перекрёстках вектор состояния ТС можно задавать следующим образом:

$$S_{TC} = (V, a, t, X),$$

где:

V - скорость,
a - ускорение,
t - длительность пребывания в состоянии S_{TC},
x - координата ТС на дорожной полосе.

При проезде перекрёстка разгон транспортных средств совершается с постоянным значением ускорения. В этом случае движение транспортных средств на полотне перекрёстка описывается известными зависимостями [1]:

$$V(t) = V_0 + at \qquad (1)$$

$$x(t) = x_0 + V_0 \cdot t + a \cdot t^2/2, \qquad (2)$$

где:
V(t) – скорость ТС в момент времени *t*;
x(t) – расстояние, пройденное ТС за время *t*;
V_0 – начальная скорость;
a – ускорение движения;
t – время проезда перекрёстка;
x_0 – начальный путь.

Для расчётов можно принять любую систему разметки полос движения, например, – 4 полосы шириной в 3 метра, по две полосы в каждую сторону – рисунок 1. Число полос не принципиально, но нецентральные городские магистрали, которых в России большинство, имеют такую конфигурацию. Ширина пешеходного перехода (зебры) также варьируется в большом диапазоне, от 2 до 6 метров (в Санкт-Петербурге – до 15 м). Расстояние от начала стоп-линии до начала перекрёстка составляет от 1 до 10 метров, принимаем его равным 6 метрам. Таким образом, автомобиль для полного пересечения перекрёстка, при движении прямо или с поворотом влево, должен проехать 18 метров.

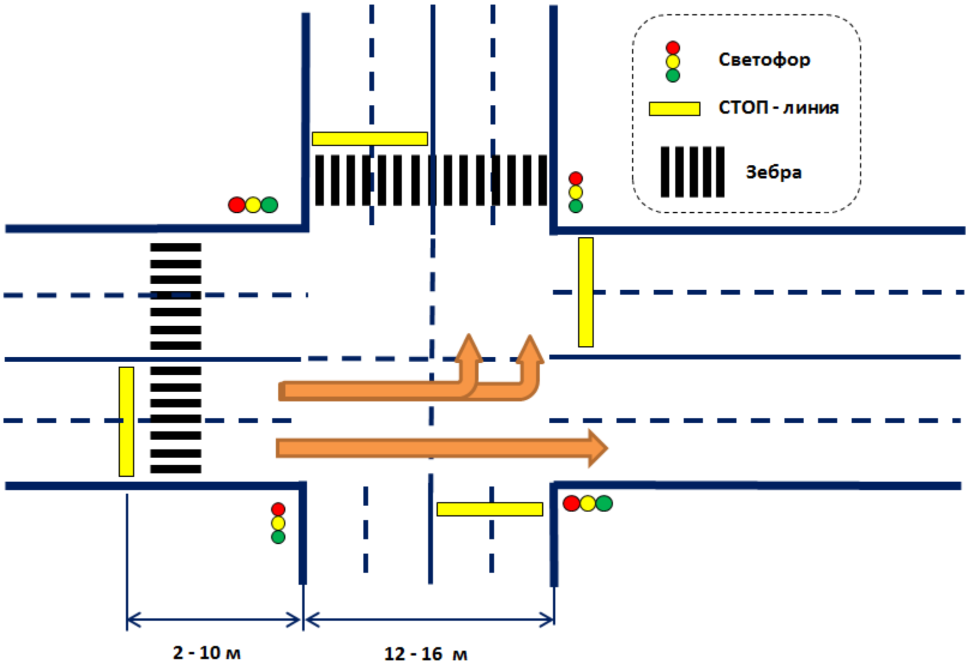


Рисунок 1 Схема проезда перекрёстка в одном направлении

Выбор величины ускорения а обоснован следующими положениями.

Для легковых машин популярных моделей согласно паспортным данным автомобилей [3] время разгона машины от 0 до 100 км/ч занимает от 4,0 (Ferrari, Lamborghini) до 18,2 с (Opel Corsa), среднее время разгона 15,75 с., достигаемое ускорение при этом колеблется в пределах от 25, 0 до 5,49 м^2/ с соответственно – таблица 1.

Таблица 1 Разгон от 0 до 100 км/ч

№ п/п	Марка и модель	Время разгона, с	Ускорение разгона, м/ с^2
1	2	3	4
1	Ferrari California, Lamborghini Gallardo Spyder LP-560	4.0	25,00
2	Porsche Cayenne V6	7,8	12,82
3	Alfa Romeo Giulietta и Infiniti EX	9,4	10,64
4	BMW X1	9,7	10,31
5	Lexus CT200h	10,3	9,71
6	Volvo XC60	11,2	8,93
7	Audi A1	11,7	8,55
1	2	3	4
8	Honda Jazz	12,8	7,81
9	Jeep Wrangler, Toyota Corolla, Nissan Note и Subaru XV	13,1	7,63
10	Hyundai Solaris	13,4	7,46
11	Daewoo Matiz и Mazda2	14.0	7,14
12	Mercedes-Benz B180 CDI	14,1	7,09
13	Kia Picanto и Seat Ibiza	14,4	6,94
14	Ford Focus	14,9	6,71
15	Skoda Fabia	15	6,67
16	Peugeot Partner/Citroen Berlingo	15,2	6,58
17	Land Rover Defender и Renault Kangoo	15,8	6,33
18	Mitsubishi i-Miev	15,9	6,29
19	Volkswagen Polo	16,1	6,21
20	Lada 4×4	16,4	6,10
21	Suzuki Jimny	17,2	5,81
22	Opel Corsa	18,2	5,49

На практике данные таблицы 1 получают опытным путём. Для этого выбирают ровный горизонтальный участок дороги длиной не менее 300 м, и в момент старта гонщик резко давит на педаль газа до упора, задавая максимально возможное ускорение. Однако, при этом данные, снятые с помощью регистратора Racelogic VBOX (основной прибор для таких замеров), секундомера или GPS отличаются друг от друга на величину до 20% по машине одной модели [4]. Кроме того, в разных источниках приводятся различные данные, также на величину показателя оказывает влияние мнение руководства компании, выпускающей автомобиль.

Специалисты считают, что этот показатель имеет чисто психологическое значение, а на практике машина с большим временем разгона до 100 км/ч (Kia) обгоняет автомобиль с превосходящими стартовыми параметрами (*Mazda*). Максимальное ускорение водитель выбирает самостоятельно, например, при выполнении обгона.

Обычно со стоп-линии водитель после старта не резко, а плавно увеличивает давление на педаль газа, задавая тем самым равномерное ускорение машины до конца разгона. Поэтому оно считается постоянным. Если принять ускорение движения ТС достаточно большим - $a = 15$ м/с^2 = const, то на каждом шаге увеличения времени скорость ТС на следующей позиции полотна перекрёстка будет плавно нарастать по линейному закону.

В таблице 2 приведены рассчитанные по функциям (1) и (2) данные о состояниях единичного ТС при его движении по полотну перекрёстка от начала стоп-линии до конца пересечения и далее, дискретность времени $t = 0{,}2$ с.

Из таблицы 2 следует, что первый автомобиль проезжает перекрёсток за 1,5 с, набрав скорость в 22 км/ч.

По рассчитанным данным в фазе разгона и в основной фазе построены графики изменения скорости и величины перемещения первого в очереди автомобиля при его старте от начала стоп-линии – рисунок 2.

Таблица 2 Состояния ТС

Время t, с	a, м/с^2	V(t), км/ч	x(t), м	Интенсивность q(t), шт/с
1	2	3	4	5
0	15	0	0	0,00
0,2	15	3	0,6	1,39
0,4	15	6	1,8	2,78
0,6	15	9	3,6	4,18
0,8	15	12	6	5,57
1,2	15	18	12,6	8,35
1,4	15	21	16,8	9,74
1	2	3	4	5
1,6	15	24	21,6	11,13
1,8	15	27	27	12,53
2	15	30	33	13,92
2,2	15	33	39,6	15,31
1	15	15	9	6,96
2,4	15	36	46,8	16,70
2,6	15	39	54,6	18,09
2,8	15	42	63	19,48
3	15	45	72	20,88
3,2	15	48	81,6	22,27
3,4	15	51	91,8	23,66
3,6	15	54	102,6	25,05
3,8	15	57	114	26,44
4	**15**	**60**	**126**	**27,83**
4,2	15	60	138,6	27,83
…	…	…	…	…
6,4	15	60	277,2	27,83

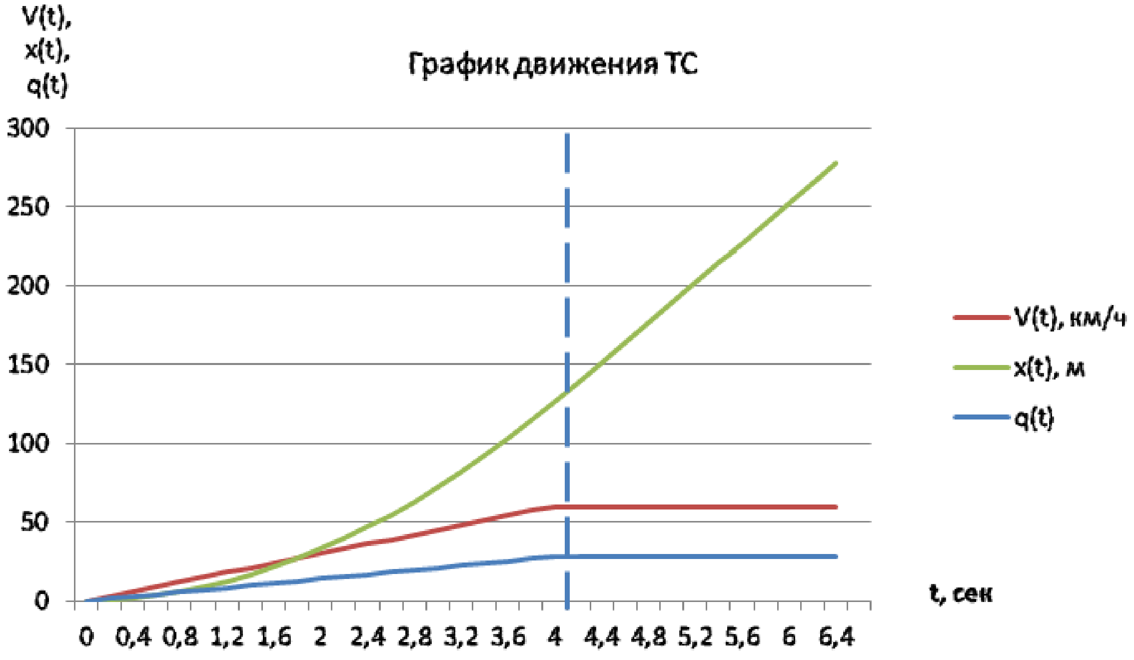


Рисунок 2 Фаза разгона и основная фаза

Из рисунка 2 (до пунктирной линии) следует, что при разгоне с постоянным ускорением скорость движения ТС возрастает линейно, а проходимое автомобилем расстояние увеличивается в степенной форме, т.е. чем выше скорость ТС, тем больший участок дороги оно преодолевает в единицу времени.

Таким образом, скорость в 60 км/ч достигается через 4 сек., когда автомобиль проедет 126 м – от начала стоп-линии до конца перекрёстка (такие широкие перекрёстки встречаются редко, преимущественно на центральных магистралях крупных городов). Средняя длина легкового автомобиля составляет 4 метра, расстояние между машинами в очереди интуитивно выбирается равным примерно 2 м, поэтому для второго ТС дистанция для фазы разгона увеличивается на 6 м, для третьего – на 12 м и т.д. Поскольку участок разгона равен 126 м, то при проезде перекрёстка фаза разгона закончится только для 21-го автомобиля (126 м / 6 м), который будет заканчивать проезд перекрёстка на скорости 60 км/ч. 22-й автомобиль въедет на стоп-линию и перекрёсток со скоростью 60 км/ч, т.е. уже в основной фазе.

Минимальное время разрешающего сигнала светофора для 22-го автомобиля составляет (для приведённых данных) 4 с в фазе разгона плюс время проезда перекрёстка в основной фазе. За это время его проедут 22 машины.

Интенсивность движения ТС через перекрёсток зависит от их скорости и количества, она определяется по формуле

$$q = V\rho, \tag{3}$$

где ρ - плотность транспортного потока, т.е. количество автомобилей, приходя-щихся на единицу длины однородного по транспортно-эксплуатационным характеристикам участка дороги, обычно на 1 км.

q –интенсивность движения, т.е. количество автомобилей, проходящих через сечение дороги в единицу времени, обычно секунду, минуту, час, сутки.

После пунктирной линии на рисунке 2 показаны состояния ТС в основной фазе.

Во время основной фазы, когда ТС движется со скоростью 60 км/ч, плотность транспортного потока ρ для длины очереди в 1 км составит 1000 м / 6 м = 167 машин, при этом интенсивность движения q составит 60 км/ч ·167 авт = 10 000 машин в час или 27-28 машин в секунду. Во время разгона интенсивность постепенно нарастает от 0 до 28 авт/с.

Т.к. принятая длина перекрёстка от стоп-линии до конца пересекающей дороги составляет 18 м, то первый автомобиль (см. Таблицу 2) успевает проехать его за 1,5 с и достичь скорости около 22 км/ч., что соответствует интенсивности порядка 10,4 авт/с. Вторая машина имеет путь для разгона на 6 м больше, поэтому на выезде за 1,7 с со скоростью 25,5 км/ч обеспечивает интенсивность уже около 11,8 авт/с, для третьего ТС q достигает 13,2 авт/с и т.д. до 22-го ТС. 22-й автомобиль уже со скоростью 60 км/ч въезжает на перекрёсток и интенсивность движения становится равной 28 авт/с.

Эти положения справедливы для очереди ТС, расположенной перед стоп-линией перекрёстка на одной полосе полотна дороги.

При многополосной разметке на каждой полосе дороги действуют рассмотренные выше положения, т.е. скорость 60 км/ч достигается ТС через 4 с в конце фазы разгона, к этому времени ТС проходит расстояние в 126 м, что обычно больше длины любого перекрёстка, т.е. основная масса очереди (до 22-й машины) преодолевает перекрёсток в фазе разгона. Все параметры (скорость, ускорение, пройденный путь, интенсивность потока) справедливы для любой полосы, но общая интенсивность проезда перекрёстка всеми очередями прямо-пропорционально числу полос.

Так, при двух-полосной разметке интенсивность увеличится в 2 раза - до 56 авт/с, при трёхполосной – в 3 раза, до 84 авт/с и т.д., но все они будут двигаться в фазе разгона. Интенсивность проезда перекрёстка растёт, но общая по всем полосам средняя скорость остаётся такой же, как и на одной полосе.

Вид функции (3) и рисунок 2 свидетельствуют, что интенсивность не имеет математического экстремума, приведённые расчёты показывают, что для однополосного движения q достигает максимума через время t = 4 с при проезде пути x(t) = 126 м, когда скорость ТС становится равной V(t) = 60 км/ч.

Если сдвинуть это расстояние до стоп-линии, то получится, что к её началу скорости в 60 км/ч достигнет только 22-й автомобиль через 4 с. Ещё 0,3 с ему понадобится для проезда самого перекрёстка. Т.о. минимальное время проезда перекрёстка составляет 4,3 с.

На основе вышеизложенного разработана методика определения минимальной длительности разрешающего сигнала светофора:

1. Определяется время и расстояние, которое проходит автомобиль от начала стоп-линии по одной полосе за фазу разгона.
2. К нему прибавляется время, за которое автомобиль проезжает расстояние от начала стоп-линии до конца перекрёстка в основной фазе. Это и будет минимальное время разрешающего сигнала светофора.

Для многополосного полотна это время умножается на число полос движения, количество проехавших перекрёсток автомобилей составляет

$$N = 22k,$$

где k – количество полос движения в одном направлении.

Основные результаты и выводы:

1. При старте от стоп-линии перекрёстка автомобиль во время движения проходит две фазы – фазу разгона от 0 до 60 км/ч и основную фазу – движение со скоростью 60 км/ч.

2. ТС преодолевают перекрёстки в фазе разгона, поскольку время разгона автомобиля от 0 до 60 км/ч для большинства ТС составляет 4 с., за это время оно проходит 126 м дороги, а реальные перекрёстки имеют существенно меньшую длину,
3. Первый в очереди автомобиль заканчивает проезд перекрёстка шириной 18 м на скорости 22 км/ч через 1,5 с, второй - 25,5 км/ч через 1,7 с., третий – 28, 5 км/ч через 1,9 с, … , 21- й – на скорости 60 км/ч через 4,3 с после старта со своей позиции в очереди за 108 м до начала стоп-линии.
4. Для одной полосы дороги интенсивность движения ТС через перекрёсток после старта со стоп-линии нарастает с 0 до 28 авт/с.
5. Минимальное время разрешающего сигнала светофора не зависит от числа полос движения, и определяется только скоростью и ускорением проезда полотна перекрёстка.
6. Методика определения минимальной длительности разрешающего сигнала светофора содержит два этапа:

- определение времени и расстояния, которое проходит ТС на одной полосе за фазу разгона от начала стоп-линии.
- к нему прибавляется время, за которое ТС проезжает расстояние от начала стоп-линии до конца перекрёстка в основной фазе.

Полученный результат составит минимальное время разрешающего сигнала светофора при любом количестве полос движения.

Список литературы

1. Яворский, Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. - 2-е изд. – М. : Мир, 1989. – 792 с.
2. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. –М.: ЛОГОС, 2013. – 188 с.
3. 33 самые медленные легковушки России — от Ferrari до…. [Электронный ресурс]. URL: https://www.kolesa.ru/article/hit-parad-samyh-medlennyh-legkovushek-kazhdoy-marki, (дата обращения: 2013-04-17).
4. Значимость разгона до 100 км/ч крайне преувеличена [Электронный ресурс]. URL: http://autoutro.ru/review/2016/10/03/znachimost-razgona-do-100-km-ch-krajne-preuveli chena, (дата обращения: 2016-03-10).

УДК 629.316

ПАРАЛЕЛЛНОЕ ВОЖДЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ахметов А.А.
д.т.н., профессор,
Ахмедов Ш.А.
и.о. генерального директора (ООО “КТЦСМ”),
Муротов Л.Б.
ассистент (Ташентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства)

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2018.9.56.18-21

В конце прошлого столетия в сельском хозяйстве стал активно упоминаться термин «точное земледелие». В разных источниках можно также встретить его называние как координатное или прецизионное (*precision* – от англ. точный).

Внедрение точного земледелия требует установку на тракторах, опрыскивателях, комбайнах специальные оборудования, позволяющих нормальное функционирование следующих систем и работ:

- система позиционирования, которая с высокой точностью позволяет определить местоположение любого объекта на земной поверхности;

- система параллельного вождения, которая позволяет проводить полевые работы (вспашка, чизелевания, малование, сев, междурядная обработка, внесение удобрений и пестицидов, уборка урожая) с максимальной точностью и минимумом «ненужных» движений. Немало важным ее преимуществом также считается возможность проведения агротехнологических операций ночью с той же эффективностью и точностью, что и днем;

- географическая информационная система, то есть программное обеспечение, которое интегрирует все доступные данные в разных форматах, в слоях и из различных источников, включая данные с различных датчиков и экспертные оценки специалистов;

- оборудование для переменного дозирования (интегрированное в разбрасыватель, сеялку, культиватор-растениепитатель, опрыскиватель).

Как показывает зарубежная практика, при точном земледелии с помощью рационального использования каждого квадратного метра поля можно существенно повысить эффективность работ, сэкономить материальные средства и снизить отрицательное воздействие на экологию. Для этого необходима современная техника, бортовой компьютер, системы земельного измерения, девайсы, которые выявляют неоднородность полей, необходимое количество удобрений, а также автоматизированный подсчет рост и развития растения, урожая.

Современные информационные и коммуникационные технологии позволяют легко и научно обоснованно управлять культурами на уровне поля. Принятие решений в сфере современного сельскохозяйственного производства требует специальной техники и машин, которые бы поддерживали технологии переменного внесения VRT (англ. Variable Rate), например, переменного дозирования семян либо дифференцированного внесения удобрений и пестицидов для защиты растений.

Спутниковые технологии очень робко интегрировались в сельское хозяйство. Долгое время потенциал спутниковых систем просто не знали, как применить. Сегодня же приемники глобального позиционирования, установленные на многих тракторах, комбайнах и других мобильных средствах используемых в сельскохозяйственном производстве позволяют контролировать перемещения сельхозтехники или любых других мобильных средств и планировать их работу. Особенно велика в этом роль технологии параллельного вождения.

Параллельное вождение является самой доступной и распространенной технологией точного земледелия. И после картографирования - первой по очередности внедрения. На основе популярности этой технологии лежит возможность точно выполнять агротехнические операции, и она не требует большие капиталовложения, технически методика не сложная, обучение машинистов-операторов происходит быстро, результат заметен сразу после выполнения работы.

Данная система позволяет проводить полевые работы (вспашка, чизелевания, малование, сев, междурядная обработка, внесение удобрений и пестицидов, уборка урожая) с максимальной точностью и минимумом «ненужных» движений. Немало важным ее преимуществом также считается возможность проведения агротехнологических операций ночью с той же эффективностью и точностью, что и днем. Значение такой возможности применительно к метеорологическим условиям республики трудно переоценить, когда в сезоне подготовки почвы и посева из-за неблагоприятных погодных условий для проведения полевых работ есть всего лишь небольшое «окно» в 1-3 дня, из которых нельзя терять буквально ни одной минуты.

Система параллельного вождения основана на использовании сигнала спутниковой навигации. Для этого техника оснащается устройствами системы параллельного вождения, в состав которых входит:

- навигационный приемник;
- дисплей;
-система может комплектоваться подруливающим устройством или автопилотом.

Работа системы сопровождается программным обеспечением.

Подруливающее устройство предназначено для автоматического вождения тракторов, комбайнов, или другой самоходной сельскохозяйственной техники по сигналам, поступающим от управляющего контроллера (рис. 1). Точность вождения (от 30 см до 2 см) зависит от типа GPS-приёмника.

В настоящее время существует три типа точности: субметровая (от 30 сантиметров и более), дециметровая (7-15 сантиметров) и сантиметровая (до 2-2,5 сантиметров). Последние два типа наиболее привлекательны для фермеров. Наряду с типом точности практикуется два вида сигнала – платный и бесплатный. При использовании бесплатного GPS-сигнала, движение машинотракторного агрегата по полю осуществляется с точностью до 30 см, а при работе с платным сигналом точность доходит до 2-2,5 см.

При использовании платного сигнала, радикально сокращается площадь необработанных или дважды обработанных участков поля, длина холостого хода машинотракторного агрегата и ширина разворотной полосы. Все это приводит к значительному снижению материальных ресурсов - топлива, семян, удобрений, гербицидов и пестицидов.

Преимуществом системы параллельного вождения является то, что она не требует больших финансовых затрат, как другие элементы точного земледелия. С технологической точки зрения она более простая и доступная, а эффект от его применения мгновенный. К тому же система очень быстро окупается - буквально за один-два сезона.

Рис. 1. Проведение полевых работ с максимальной точностью

Система параллельного вождения делятся на вспомогательные и автоматизированные системы рулевого управления.

Вспомогательные системы рулевого управления, опираясь на работу систем позиционирования (GPS) подсказывают машинисту-оператору, куда в данный момент нужно ехать. Опираясь на эти подсказки, управлять машинотракторным агрегатом машинист-оператор должен самостоятельно.

Применение автоматизированных систем рулевого управления позволяют упростить ряд задач, связанных с управлением сельхозтехникой, и тем самым разгружает машиниста-оператора от выполнения монотонных действий и снижает влияние так называемого «человеческого фактора».

Автоматизированные системы рулевого управления (автопилот) полностью контролируют рулевое колесо, что позволяет машинисту-оператору отпустить руль свободным непосредственно во время агротехнологических операций. Внимание может быть сосредоточено на работе других приборов непосредственно несвязанных с рулевым управлением, но имеющих отношения с данной агротехнологичсекой операцией. Интеллектуальные системы наведения имеют в своем арсенале различные шаблоны управления, и они могут быть использованы с двумя предыдущими системами.

Рис. 1. Автоматизированные системы рулевого управления

Автопилотирование отличается от параллельного вождения тем, что сигнал отклонения от заданной траектории, полученный GPS-приёмником и обработанный навигационным контроллером, посредством управляющего клапана вводятся непосредственно в гидравлическую систему управления колесами трактора, минуя подруливающее устройство, и тем самым, исключая инертность и люфт рулевого управления. Кроме того на трактор устанавливается специальный датчик угла поворота колес. При такой схеме прохождения сигнала достигается максимальная точность (отклонение ±2 см) движения машинотракторного агрегата по маршруту без вмешательства машиниста-оператора.

Для параллельного вождения и автопилотирования на тракторе используются следующие оборудования:

- приёмник поддерживает различные варианты для поправок сигналов GPS, использование которых позволяет обеспечить точность движения;

- светодиодная панель (монитор) в графическом виде показывает текущее положение машинотракторного агрегата и обеспечивает машиниста-оператора дополнительной информацией при разворотах или вождении по изогнутой траектории. Она имеет графический дисплей с возможностью считывания данных при ярком солнечном свете;

- полевой компьютер с программным обеспечением представляет собой систему управления информационными данными, использующимися для навигации, автоматического вождения, ведения записей, полевой съемки, площадной съемки, приложений с изменяемыми показателями;

- контроллер, на основе обработки данных, поступающих от GPS-приемника и внутренних датчиков, находящихся в состоянии покоя и работающих по 6 осям, передает команды для системы управления. Существует также контролеры, совмещенные с GPS-приёмником;

- датчик угла поворота колес служит для непрерывной обратной связи с системой управления машинотракторным агрегатом;

-гидравлический клапан получает электрические сигналы от контроллера и преобразует их в гидравлические, которые система использует для удержания машинотракторного агрегата на заданном курсе;

- подруливающее устройство обеспечивает параллельное вождение с точностью до 10 см;

- базовая станция передает поправки GPS-положения на GPS-приёмник машинотракторного агрегата через радиосвязи или GSM-модем для определения координат с высокой точностью (погрешность менее ±2 см).

В настоящее время в республике на Ташкентском заводе сельскохозяйственной техники налаживается производство тракторов под брендом «Zamin», впервые снабженной системой параллельного вождения, разрабатываемым в АО "Конструкторского-технологический центр сельскохозяйственного машиностроения" совместно с Московским представительством «Trimble» в комплект которого входит:

- монитор GFX-750 (s/n 5722200124);
- навигационный контроллер-приемник Nav900 (s/n 5722400156);
- подруливающее устройство Trimble;
- электромотор SAM 200 (s/n 5825M66036);
- комплект кабельных жгутов и монтажных пластин и кронштейнов.

Этот трактор будет первой ласточкой во внедрении концепции точного земледелия в республике в части системы параллельного вождения и к нему разрабатывается набор базовых машин для сельскохозяйственных полевых работ. В перспективе рассматривается также вопрос внедрения автоматизированной системы рулевого управления, т.е. автопилота.

Использованные источники

1. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие / В.И. Балабанов, С.В. Железова, Е.В. Березовский, А.И. Беленков, В.В. Егоров. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2013. –148 с.

2. Якушев В. В. Точное земледелие: теория и практика. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016 год. – 364 с.

3.Точное земледелие: ключевые технологии и концепции // http://kas32.com/post/view/330.

4. Новицкий И. Точное земледелие: принцип работы и перспективы // https://xn--80ajgpcpbhkds4a4g.xn--p1ai/articles/tochnoe-zemledelie/.

5. Юрченко О. Космические данные определяют точное земледелие // https://www.apk-news.ru/kosmicheskie-dannye-opredelyayut-tochnoe-zemledelie/

6. Шевко Д. GPS, Интернет и трактор: точное земледелие как спасение человечества // http://greenbelarus.info/articles/15-08-2017/gps-internet-i-traktor-tochnoe-zemledelie-kak-spasenie-chelovechestva.

УДК 66.017: 669.783

КЛАСТЕРНО-АССОЦИАТНАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ, ПЛОТНОСТИ И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИГЕРМАНИЯ

Бабағұл Б. С.,
магистрант кафедры НТМ
Макашева А.М.,
д.т.н., профессор
Карагандинский государственный технический университет

АННОТАЦИЯ

В данной статье разработаны новые зависимости вязкости от температуры в полном диапазоне жидкого состояния для германия. Концепция хаотизированных частиц создаёт возможность определить с достаточно высокой точностью температурную зависимость динамической вязкости и плотности. Разработанные кластерно-ассоциатные модели температурной зависимости динамической вязкости и плотности использованы для построения на их основе соответствующей модели кинематической вязкости жидкого германия. Проведена проверка полученных моделей. Выяснилось, что модели адекватно описывают экспериментальные данные. Приведено согласование всех трех характеристик не только по связывающему их фундаментальному соотношению, но и по единой природе и форме согласуемых температурных зависимостей.

Ключевые слова: концепция хаотизированных частиц, распределение Больцмана, ван-дер-ваальсовое притяжение, динамическая вязкость, плотность, кинематическая вязкость, реперные точки, диапазон жидкого состояния, степень ассоциации кластеров, кластерно-ассоциатная модель

ВВЕДЕНИЕ

Авторами монографии [1] были разработаны новые зависимости вязкости от температуры в полном диапазоне жидкого состояния длягермания, основанные на концепции хаотизированных частиц. Согласно этой концепции, в соответствии с фундаментальным распределением Больцмана, вязкое течение рассматривается как разрушение ассоциатов путем преодоления сил ван-дер-вальсового притяжения между кластерами, что в принципе не противоречит существующим представлениям о вязком течении и подчиняется данной зависимости:

$$\eta = \eta_1 \left(T_1/T\right)^{a_2 \left(T_2/T\right)^b}, \qquad (1)$$

где η_1– реперная точка динамической вязкости при соответствующей температуре T_1 (К); a – степень ассоциации кластеров, b – мера понижения степени ассоциации кластеров.

Для идентификации показателей a и b необходимо иметь вторую и третью реперные точки η_2, T_2, η_3, T_3

$$a = a_2(T_2/T)^b, \qquad (2)$$

$$a_2 = \frac{\ln\left(\eta_2/\eta_1\right)}{\ln\left(T_1/T_2\right)}, \qquad (3)$$

$$a_3 = \frac{\ln\left(\eta_3/\eta_1\right)}{\ln\left(T_1/T_3\right)}, \qquad (4)$$

$$b = \frac{\ln\left(a_3/a_2\right)}{\ln\left(T_2/T_3\right)}. \qquad (5)$$

Для поиска возможного экстремума этой функции (скорее всего, минимума) необходимо ее продифференцировать и приравнять нулю. С этой целью сложную показательно-степенную функцию (1) целесообразно перевести в логарифмическую форму, поскольку экстремумы исходной и логарифмической форм соответствует одним и тем же значением аргумента:

$$\ln \eta = \ln \eta_1 + a_2 \left({}^{T_2}/_{T}\right)^{b} \ln\left({}^{T_1}/_{T}\right) \qquad (6)$$

Дифференцирование и приравнивание нулю приводит к виду

$$\frac{d \ln \eta}{dT} = -a\overset{b}{\underset{2}{T}} T^{b-1} \left[b \ln\left({}^{T_1}/_{T}\right) + 1\right] = 0 \qquad (7)$$

В котором сомножитель в квадратных скобках раскрывается как

$$T_{\eta,\min} = T_1 e^{1/b} \qquad (8)$$

Здесь $T_{\eta,\min}$ обозначает температуру, при которой по модели (1) достигается минимальное значение вязкости. Это значение должно быть сопоставлено с критической температурой жидкости T_{cr}, после которой она (жидкость) не может как отдельная фаза существовать ни при каких давлениях. Поэтому для адекватного опиания температурной зависимости вязкости в полном диапазоне жидкого состояния должно соблюдаться условие $T_{\eta,\min} \geq T_{cr}$. При нарушении этого условия необходима корректировка показателя b по условию $T_{\eta,\min} = T_{cr}$, из которого следует, согласно (7),

$$b = {}^{-1}\Big/_{ln\left({}^{T_1}/_{T_{cr}}\right)} = {}^{1}\Big/_{ln\left({}^{T_{cr}}/_{T_1}\right)} \qquad (9)$$

Реперные точки целесообразно выбирать соответственно в начале, середине и в конце экспериментального массива η_i, T_i. В этом случае можно, не обрабатывая весь экспериментальный массив, ограничиться расчетом a_2, a_3 и b с дальнейшим введением необходимых величин в модель (1) и вычислением η для сопоставления со всеми экспериментальными значениями по коэффициенту корреляции.

В качестве примера адекватного отображения динамической вязкости кластерно-ассоциатной модели проведём анализ данных погерманию, которое достаточно широко применяется в химической промышленности, медицине, электронике, военной промышленности, энергетической промышленности и так далее.

Проверка адекватности кластерно-ассоциатной модели динамической вязкости германия

В справочнике [2] приведены данные, имеющиеся для достаточно полного диапазона жидкого состояния, простирающегося далеко за точку кипения при атмосферном давлении, почти до критической точки.

По германию в [2] со ссылкой на первоисточник [4] приводится сводка значений динамической вязкости, а в [3] содержатся данные по кинематической вязкости и плотности, относящиеся только к четырем одинаковым для νи ρтемпературам. Из них рассчитали величины динамической вязкости по связывающей их формуле $\eta = \nu\rho$и выбрали три репеные точки: T_1 = 1218 К, η_1 = 0,744 мПа·с; T_2 = 1283 К, η_2 = 0,633 мПа·с; T_3 = 1403 К, η_3 = 0,546мПа·с. Расчетное уравнение динамической вязкости жидкого свинцаприняло вид:

$$\eta = 0.744\left(1218/T\right)^{3.1077\left(1283/T\right)^{3.92318}}, \text{ мПа·с.} \qquad (10)$$

Температуры плавления и кипения германия из разных источников: по[2] – 1210,7 и 2973 К, по [3] – 1211,4 и 3120 К, а по[5] – 1211,4 и 3106 К (приняты для расчетов). Наша оценка $T_{cr} \approx$ 4979 К.

Коэффициент корреляции (10) с обеими сводками данных по [3] и [4]составил R = 0,9858 при $t_R = 114 > 2$.Наибольшее отклонение расчетных данных относится к температуре 1223 К в области кристаллизации германия, но и оно не превышает 5%. К тому же здесь имеет место «стыковка» двух сводок литературных данных по верхним значениям вязкости. Однако более существенно то, что экстраполяция (10) в область кипения и далее в критическую точку сопровождается повышением вязкости, что указывает на нарушение условия $\eta \leq \eta_{min}$для предлагаемой модели типа (1). В расчетном варианте (10) $T_{n,min} = 6507K < \text{T}_b = 3106\,K\ < T_{cr} \approx 4979\,K$,вследствие чего зависимость (6) может быть использована только для интерполяции в интервале от T_m до ~ 1500 К.

Полное отображение вязкости в данном случае, как и для кремния, возможно при отнесении точки минимума к критической точке, что согласно формуле (9), обеспечивается расчетом соответсвующего показателя b. При этом достаточно использования двух реперных точек, которые целесообразно взять из двух массивов литературных данных: T_1 = 1248 К, η_1 = 0,680 мПа·с; T_2 = 1403 К, η_2 = 0,546 мПа·с. Тогда b = 1/ln(4979/1248) = 0,72272 и более универсальное расчетное уравнение примет вид

$$\eta = 0{,}68(1248/T)^{1{,}8683(1403/T)^{0{,}72272}}, \text{ мПа·с} \quad (11)$$

Коэффициент корреляции его с обеими сводками данных по вязкости оказался столь же высоким, R = 0,98272 при t_R=95 > 2, причем наибольшее отклонение расчетного значения вязкости в области кристаллизации (при 1218 К) оказалось даже меньше, чем по (10), не превышая 4%. Это позволяет рекомендовать зависимость (11) для полного описания жидкого состояния германия.

Сравнение справочных, экспериментальных и расчетных данных приведено в табл. 1

Таблица 1 – Динамическая вязкость жидкого германия по [3], [4], (10) и (11)

T, К	$\nu \cdot 10^6$ [3], м^2/с	ρ [3], кг/м^3	η[3], мПа·с	η[4], мПа·с	η (10), мПа·с	a	η (11), мПа·с	a
T_m = 1211,4	-	-	-	-	0,760	3,89	0,723	2,08
1218	0,135	5510		-	0,744	3,81	0,715	2,07
1223	-	-	-	0,700	0,733	3,75	0,709	2,06
1248	-	-	-	0,680	0,684	3,46	0,680	2,03
1251	0,122	5480		-	0,679	3,43	0,677	2,03
1273	-	-	-	0,645	0,646	3,21	0,653	2,00
1283	0,116	5460		-	0,633	3,11	0,644	1,99
1293	-	-	-	0,620	0,621	3,01	0,634	1,98
1323	-	-	-	0,590	0,592	2,76	0,607	1,95
1348	-	-	-	0,570	0,574	2,56	0,586	1,92
1393	-	-	-	0,550	0,550	2,25	0,553	1,88
1403	0,101	5410		-	0,546	2,19	0,546	1,87
1423	-	-	-	0,530	0,539	2,07	0,533	1,85
1473	-	-	-	0,510	0,528	1,81	0,504	1,80
T_b = 3106	-	-	-	-	0,680?	0,097	0,261	1,05
$T_{cr}\approx$ 4979	-	-	-	-	0,728?	0,015	0,242	0,75

Проверка полученной модели плотности жидкого германия

По жидкому германию в справочнике [3] приведена сводка значений плотности, из которой для идентификации кластерно-ассоциатной модели выбраны реперные точки: T_1 = 1218 К, ρ_1 = 5510 кг/м^3; T_2 = 1573 К, ρ_2 = 5310 кг/м^3;T_3 = 1873 К, ρ_3 = 5170 кг/м^3. В результате построена зависимость:

$$\rho = 5510(1218/T)^{0{,}144552(1573/T)^{-0{,}135294}}, \text{ кг/м}^3, \quad (12)$$

с$T_{\rho,\max}$ = 0,75 К << T_m = 1211,4 К.

Сопоставление справочных и расчетных данных представлено в таблице 2.

Близость коэффициента корреляции единице (R = 0,99826 при t_R = 640 >> 2) обеспечивает надежность экстраполяции зависимости (12) в область очень высоких температур.

Таблица 2 – Плотность жидкого германия по [3] и (12)

T, К	ρ [3], кг/м^3	ρ (12), кг/м^3	*a*	*T, К*	ρ [3], кг/м^3	ρ(12), кг/м^3	*a*
T_m = 1211,4	-	5514	0,140	1873	5170	5170	0,148
1218	5510	5510	0,140	2000	-	5117	0,149
1251	5480	5489	0,140	2500	-	4933	0,154
1283	5460	5470	0,141	T_b = 3106	-	4750	0,159
1403	5410	5400	0,142	3500	-	4649	0,161
1573	5310	5310	0,145	4000	-	4534	0,164
1673	5260	5261	0,146	$T_{cr} \approx$ 4978	-	4344	0,169

Согласование температурных зависимостей динамической, кинематической вязкости и плотности на основе концепции хаотизированных части

Фундаментальная связь динамической (η, Па·с), кинематической (ν, м^2/с) вязкости и плотности жидкости (ρ, кг/м^3) при любой температуре определяется соотношением

$$\eta = \rho\nu. \qquad (13)$$

Что касается конкретного выражения температурной зависимости для каждой переменной, то они остаются разобщенными по физическим моделям и достаточно строго выражаются только аппроксимирующими уравнениями несопоставимой точности и возможности экстраполяции в область высоких температур [3].

Расчет и проверка кинематической вязкости жидкого германия через кластерно-ассоциатные модели динамической вязкости и плотности

Кинематическая вязкость жидкого германия выражается через динамическую вязкость η (6) и плотность ρ (7) как:

$$\nu = 10^{-3}\,\frac{0{,}68\left(1248/T\right)^{1{,}8683\left(1403/T\right)^{0{,}72272}}}{5510\left(1218/T\right)^{0{,}144552\left(1573/T\right)^{-0{,}135294}}},\ \text{м}^2/\text{с}.(14)$$

В [3] содержится сводка значений ν, сравнение с которой результатов расчета по (14) приведено в табл. 3.

Коэффициент корреляции составил *R* = 0,97473 при t_R = 52 > 2, а в более широкий температурный диапазон исследований (240 К).

Таблица 3 – Кинематическая вязкость жидкого германия по (14) и [3]

T, К	ν (14), 10^7 м^2/с	ν [4], 10^7 м^2/с	*T*, К	ν (14), 10^7 м^2/с	*T*, К	ν (14) 10^7 м^2/с
T_m = 1211,4	1,312	-	1500	0,917	3200	0,546
1218	1,298	1,350	1700	0,784	3300	0,544
1233	1,267	1,310	1900	0,702	3400	0,542
1243	1,248	1,240	2100	0,648	3500	0,541
1251	1,233	1,220	2300	0,611	3600	0,540
1268	1,202	1,190	2500	0,586	3700	0,53968
1283	1,177	1,160	2700	0,569	3800	0,53967
1363	1,060	1,060	2900	0,557	3900	0,53997?
1403	1,012	1,010	3000	0,522	4000	0,541?
1458	0,955	0,980	T_b = 3106	0,549		

Выводы

Разработанные кластерно-ассоциатные модели температурной зависимости динамической вязкости и плотности использованы для построения на их основе соответствующей модели кинематической вязкости жидкого германия, которая адекватно описывает экспериментальные данные. А также приведено согласование всех трех характеристик не только по связывающему их фундаментальному соотношению, но и по единой природе и форме согласуемых температурных зависимостей.

Преимущество кластерно-ассоциатной модели состоит в возможности прогнозирования поведения вязкости, как в области низких температур, так и высоких вплоть до температуры кипения.

Список литературы

1. Малышев В.П., Бектурганов Н.С., Турдукожаева (Макашева) А.М. Вязкость, текучесть и плотность веществ как мера их хаотизации. – М.: Научный мир, 2012. – 288 с.
2. Панфилович К.Б. Тепловое излучение и поверхностное натяжение жидких металлов и сплавов. Казан. гос. технол. ун-т, Казань, 2009.
3. Свойства элементов: Справ. изд. – в 2-х кн. Кн. 1/ Под ред. Дрица М.Е. – 3-е изд., перераб. доп. – М.: Руда и Металлы, 2003. – 448 с.
4. Глазов М.Н., Петров Д.А. Исследование температурной зависимости вязкости германия // Известия АН СССР, ОТН – 1958. № 2. – С. 15-19.

5. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. – М.: Современная школа, 2005. – 608 с.

6. Хобдабергенов Р.Ж., Козин Л.Ф., Требухов А.А. и др. Вязкость и электропроводность свинца, серебра, и сплавов серебро-свинец в жидком состоянии // Вестник АН Каз ССР. – 1975. - № 6. – С. 41-46.

7. Малышев В.П., Турдкуожаева (Макашева) А.М. Равновесная самоорганизация наноразмерных кластеров твердой фазы в жидкости // Энциклопедия инженера-химика. – 2009. - №. – С. 2-8; № 5. – С. 2-6; № 6. – С. 5-11.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ УГЛЕЙ ТУВЫ И ИХ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ.

Монгуш Григорий Романович,
*Младший научный сотрудник**
**ФГБУН Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук, г.Кызыл*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2018.9.56.25-27

АННОТАЦИЯ

В данной работе представлены результаты сравнения кривых термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) топливных брикетов и их исходных углей. В результате анализа было показано, что процессы изготовления топливных брикетов существенно влияют на температурные показатели при термоокислительной деструкции углей, что в свою очередь положительно влияет на процесс сжигания и выход продуктов топлива в печах.

Ключевые слова: Реакционная способность, уголь, топливный брикет, термогравиметрия, сжигание угля.

STUDY OF BURNABILITY OF COALS AND COAL BRIQUETTES OF TUVA.

ABSTRACT

The present paper considerscomparison results of the curves of thermogravimetry (TG) and differential scanning calorimetry (DSC) of coals and coal briquettes. Result analysis demonstrated that the making process of coal briquettes have a significant effect on temperature indicators during thermal-oxidative coal destructionthat has a positive effect on the combustion process and yield of coal products in fire-stoves.

Keywords: burnability, coal, fuel briquette, thermogravimetry, coal combustion.

Введение

В правительстве Тувы вышло распоряжение по отбору инвестиционных проектов, предлагающих лучшее технологическое решение по уменьшению выбросов в атмосферу г. Кызыла загрязняющих веществ. Министерству природных ресурсов и Роспотребнадзору поручено усилить контроль за соблюдением природоохранного законодательства, совместно с мэрией Кызыла провести инвентаризацию малых котельных и внести предложения по их модернизации, регулярно вести мониторинг за выбросами Кызылской ТЭЦ. [1]

Одним из технологических решений проблемы в борьбе с вредными выбросами в атмосферу города видят в применении бездымных топливных брикетов, в частности для отопления в печах частного сектора. За этот проект взялась строительная компания ООО «Хайдып девелопмент», усилиями которой была выпущена первая пробная партия из угля Каа-Хемского и Межегейского месторождения в 2015 году, изготовленная на Балахтинском заводе угольных брикетов. [2]

Были проведены пробные сжигания в печах частного сектора и получены положительные отзывы потребителей, однако не было проведено официального измерения и анализа на предмет газообразных и пылевидных выбросов.

Цель данной работы – исследование реакционной способности в процессе термоокислительной деструкции топливных брикетов из каменных углей Тувы.

Методика исследования

В качестве сырья были исследованы каменные угли 1ГЖ Каа-Хемского и Ж Межегейского месторождения (*технические характеристики (см.табл.1) получены стандартными методами анализа*) и их топливные брикеты.

Для получения и сравнения кривых термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) каждый из образцов были исследованы на синхронном термическом анализаторе Netzsch STA 409 C в воздушной среде. Температура нагревания до 1100 °C, скорость подачи воздуха - 30 мл/мин; защитный газ азот – 10 мл/мин.

Обработка результатов проводилась при помощи оригинального программного обеспечения Proteus analysis фирмы Netzsch, которая позволяет исследовать гравиметрические и калориметрические данные. Типичные результаты дифференциального термического анализа (ДТА) образцов представлены на рисунках 1 и 2.

В ходе анализа регистрировались потери массы образцов в интервалах температур (см. табл.2).

Результаты

Таблица 1. Технические показатели углей Каа-Хемского и Межегейского месторождений.

№	**Наименование**	**Зольность, A^d**	**Влага рабочая, W_t^r**	**Аналитическая влага W^a**	**Выход летучих веществ V^{daf},%**	**Содержание серы, S^d, %**	**Низшая теплота сгорания, ккал/кг**
1	Уголь 1ГЖ – (Каа-Хем)	6,8	1,8	1,6	46,6	0,32	7152
2	Уголь Ж – (Межегей)	8,7	1,9	0,8	39,2	0,6	5613

Из таблицы 1 видно, что исходные угли малозольные, малосернистые, с хорошей теплотворной способностью, но с высоким содержанием летучих веществ.

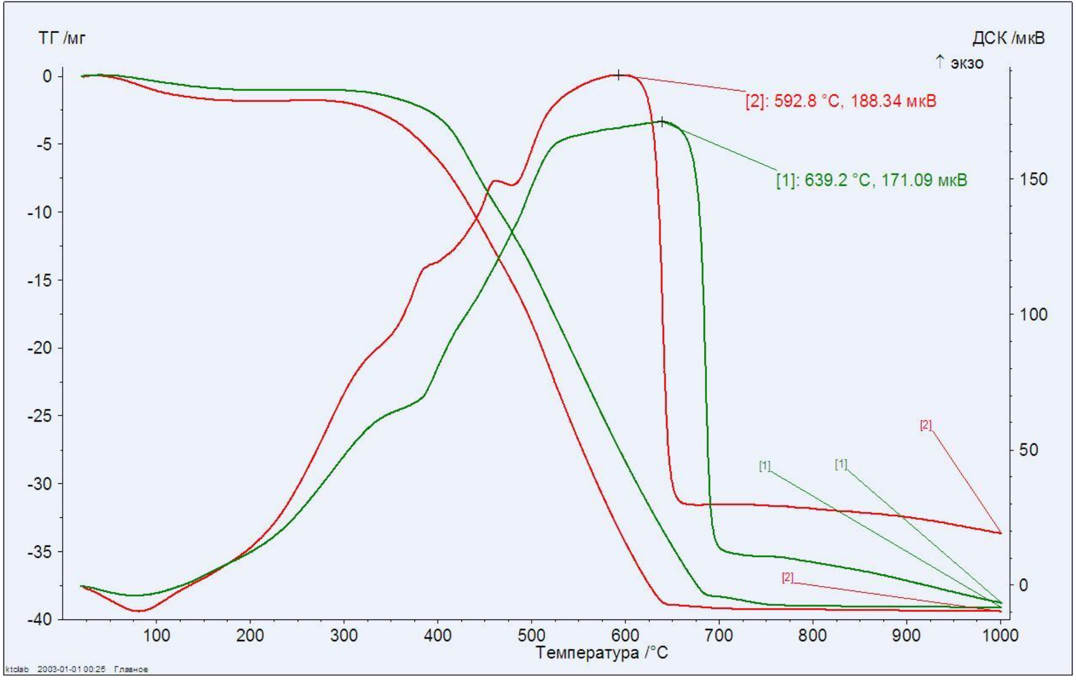


Рис.1 Графики ТГ и ДСК процесса нагрева каменного угля и топливного брикета Каа-Хемского месторождения

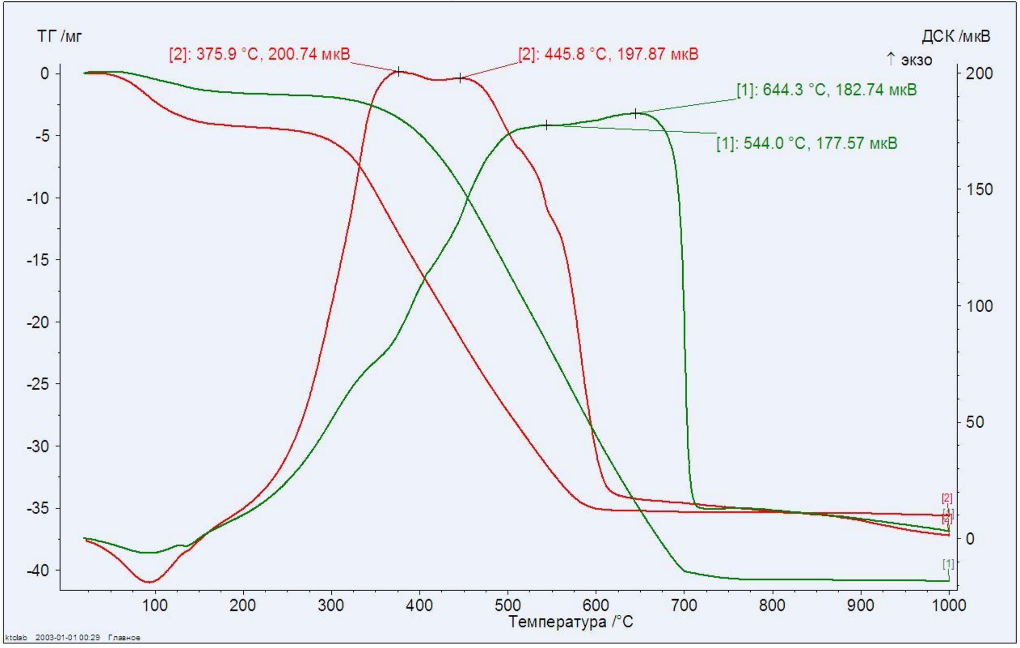


Рис.2 Графики ТГ и ДСК процесса нагрева каменного угля Межегейского месторождения

Таблица 2. Результаты термогравиметрического анализа.

№	**Образец**	**Потеря массы m, %, в интервале температур, °С**				**Остаток, %**	**Т сгорания ОМУ конечная, °С**
		До 200	**200-400**	**400-600**	**600-800**		
1	Уголь 1ГЖ (Каа-Хем)	2,2	4,32	55,42	23,22	*14.8*	663
2	Уголь Ж (Межегей)	3,14	6,51	48,01	22,97	*19,3*	700
3	Топливный брикет (Каа-Хем)	3,47	8,18	53,5	9,39	*25,46*	684
4	Топливный брикет (Межегей)	9,82	26,57	44,24	0,73	*18,64*	591

Из графиков 1,2 и таблицы 3 видно, что после изготовления из данных углей топливных брикетов увеличивается реакционная способность (*снижение конечной температуры выгорания, сужение температурного интервала горения [2]*) и более интенсивнее проходит процесс выгорания угля, особенно для Межегейского месторождения. Вероятно, это связано с процессами, использовавшиеся при изготовлении угольных брикетов, которые влияют на достоинства топливного брикета (*в частности и увеличение теплоотдачи*): *сушка* - чем меньше влаги, тем прочнее брикеты, а также минимизируются потери на парообразование; *измельчение* - при сгорании мелкие частицы брикета более проницаемы, чем монолитный кусок угля; *добавление связующих, подготовка шихты* - процесс важен для механических характеристик; *прессование, окускование* - первоначальное уплотнение измельченного угля происходит за счет удаления пустот между частицами, затем путем повышения давления до 100-200 МН/м^2 происходит деформации и уплотнение самих частиц. При этом выделяются фенолы и смолы, которые при добавлении воды могут образовывать натуральный связующий компонент. [3]

Заключение

Показано, что процессы изготовления топливных брикетов существенно влияют на температурные показатели (*снижается температура и интервал полного выгорания топлива*) при термоокислительной деструкции углей, что в свою очередь положительно влияет на процесс сжигания и выход газовых продуктов топлива в печах. Основную роль играет процесс тонкодисперсного измельчения углей (*механоактивация*) - увеличение удельной поверхности проб.

Список литературы:

1. Официальный портал Республики Тыва [Офиц. сайт]. URL: http://gov.tuva.ru/press_center/news/activity/11702/ (Дата обращения 03.12.2018)
2. Юсупов Т.С., Шумская Л.Г., Бурдуков А.П. Логвиненко В.А. Реакционная способность углей различных стадий метаморфизма в процессах термоокислительной деструкции. // Химия в интересах устойчивого развития. 2011. №4 Т-19.С 427-432
3. Брикеты из каменного угля. ООО «Уралбрикет» [Офиц. сайт]. URL: http://ural-briket.ru/brikety-is-uglya.html (Дата обращения 03.12.2018)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГАЗОВАННОСТИ ВОЗДУХА АВТОТРАНСПОРТОМ В Г. КАЛУГА

Никулина Светлана Николаевна
Канд. тех наук, зам. Зав. кафедры по учебной работе Экологии и промышленной безопасности, г. Калуга
Чудакова Татьяна Андреевна
Студент, направление техносферная безопасность, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга
Цымбалюк Мария Владимировна
Студент, направление техносферная безопасность, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются данные по производству автомобилей г. Калуги с целью выявления динамики загрязнения атмосферного воздуха вредными газообразными веществами. Представлены значения развития промышленности за последние 3 года. Изложена информация о причине засорения зеленых насаждений города. Проведено экспериментальное исследование загрязнения окружающего воздуха города автотранспортными средствами.

ABSTRACT

The article deals with the data on the production of cars in Kaluga in order to identify the dynamics of air pollution with harmful gaseous substances. The values of industrial development over the last 3 years are presented. Information on the reason of clogging of green plantings of the city is stated. An experimental study of the pollution of the surrounding air of the city by vehicles.

Ключевые слова: автотранспортное средство, Калуга, производство
Keywords: motor transport, Kaluga, industry

Введение

В XX1 веке загрязнение атмосферного воздуха является одной из глобальных экологических проблем, возникших в результате негативного антропогенного воздействия на окружающую среду. Научные исследования по оценке антропогенной нагрузки на воздушный бассейн промышленных городов, а также разработка методов его регулирования относятся к актуальным проблемам. Исследование проводилось на примере развитого промышленного региона Российской Федерации.

Калужская область является быстроразвивающимся промышленным регионом, в котором проблема загрязнения атмосферного воздуха приобретает все более устойчивую актуальность с каждым годом. Калуга на протяжении многих лет была в числе самых зеленых городов России, но с развитием промышленности повысилась необходимость в пользовании автотранспортными средствами для передвижения между городами и внутри с целью обеспечения обмена новыми технологическими ресурсами и повышения товарооборота в металлургии [1]. В несколько раз увеличилось появления грузовых автомобилей с различными габаритами, формой и размером, что повлекло за собой проблемы с движением автотранспорта в обыденное время в городах «Мегаполисах» и со средним числом населения, стали образовываться «заторы», или пробки. По итогам первого полугодия 2018 г. завод «Volvo Group» в Калуге увеличил производство грузовых автомобилей Volvo примерно на 25% по сравнению с аналогичным периодом 2017 года. От 70 до 80% грузовых автомобилей Volvo, продающихся на российском рынке в последние годы, имеют калужское происхождение. В среднем в автомобилях двигатель непрерывно работает на протяжении всего маршрута, нередко и во время пробки, так как вероятность начала движения в определенный момент времени отследить невозможно и, как любое устройство, от постоянного включения и выключения зажигания двигатель автомобиля легко может понизить срок своей службы. Как следствие, выхлопы вредных газов и форм оксидов скапливаются в месте пробок, их пары впитываются в асфальт и околодорожные местности, что чрезвычайно плохо не только в центре города, где поток людей постоянный и массовый, и наблюдается нехватка кислорода, но и на магистралях, где окружающую дорогу местности занимают луга, поля, леса.

Сегодня калужский автокластер представлен тремя OEM-производителями – Volkswagen, PCMA (Peugeot Citroën & Mitsubishi Alliance), Volvo и сформированным пулом производителей автокомпонентов – 28 компаний, многие из которых взаимодействуют с традиционными предприятиями региона. Таким образом, автокластер объединяет 31 предприятие, производит более 11% всех выпускаемых в России автомобилей. Его доля в общем объеме промпроизводства региона составляет 36%. Индекс производства автотранспортных средств за 6 месяцев 2018 г. составляет 157,2% [3].

Увеличение транспортных средств неизбежно становится одной из причин исчезновения зеленого насаждения города. Повышается уровень загрязнения вредными веществами.

В Калуге, как в одном из развитых промышленных регионов, за последние 10 лет (начиная с 2008 – 2018 гг) наблюдается резкий рост количества автотранспорта. По данным исследования, проведённого аналитическим агентством «Автостат», если в среднем по России на начало 2016 года на тысячу человек приходилось 283 легковых машины, то в Калужской области – 341 автомобиль на тысячу жителей. Это второе место в стране после Московской области, где на тысячу человек обеспеченность авто составляет 345 единиц [2]. После Калужской области с «результатом» в 339 машин идут Калининградская область и Карелия. Данные приведены на рис. 1 [4].

Высокая обеспеченность	2014	2015
Московская обл.	348	345
Калужская обл.	346	341
Калининградская обл.	344	339
Карелия	339	339
Средняя обеспеченность		
Иркутская обл.	296	284
Ленинградская обл.	288	283
Курская обл.	280	282
Омская обл.	289	281
Низкая обеспеченность		
Ингушетия	128	136
Чечня	121	127
Чукотский АО	75	85

Рисунок 1. Количество легковых автомобилей, приходящееся на 1000 человек по Федеральным областям Российской Федерации

Экспериментальные исследования и результаты

Сопоставляя с данными аналитической группы, было проведено исследование совместно со специалистами фирмы «Экоаналитика» и городского комитета по охране окружающей среды общего среднесуточного потока автотранспорта на магистралях и улицах города. Практика проводилась с 8 до 19 часов рабочего дня с целью оценки антропогенного воздействия на окружающую среду. Подсчёт количества автотранспорта проводился в нескольких временных периодах. Работа проводилась ежедневно в будние дни в течение 14 дней.

Результаты практической работы по прохождению различных видов автотранспорта (от легковых до грузовых) представлены в виде графика на рис. 2.

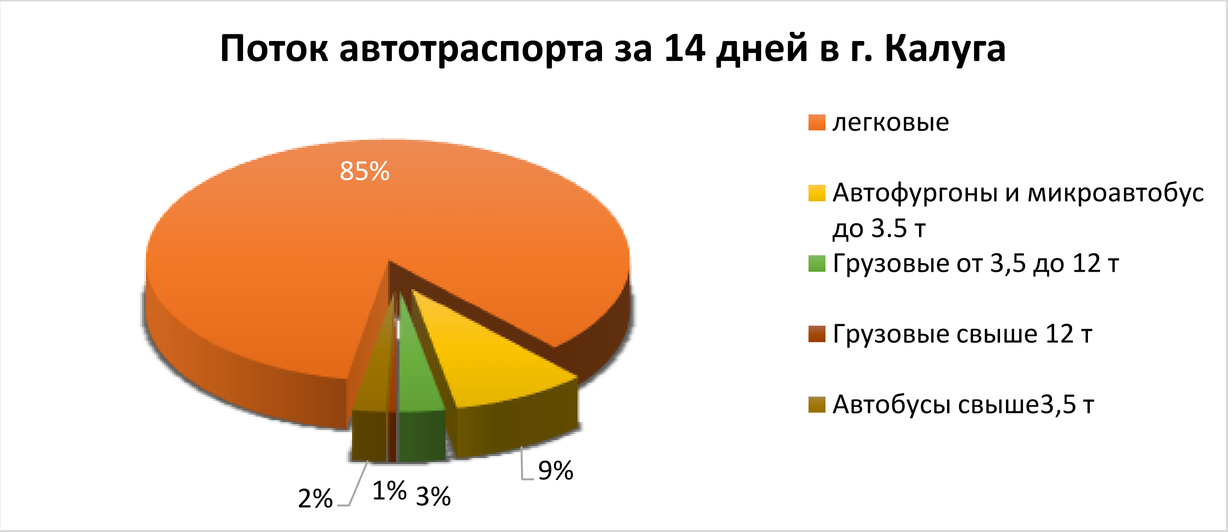


Рисунок 2. Круговая диаграмма потока автотранспорта за 14 дней в г. Калуга

Аналитические данные показывают, что в среднем за 14 дней по центральным улицам прошло: 52 176 легковых автомобилей, 5 568 автофургонов и микроавтобусов весом до 3,5 тонн, 1 890 грузовых автомобилей весом от 3,5 до 12 тонн, 294 грузовых автомобилей весом свыше 12 тонн, 1 356 автобусов весом свыше 3,5 тонн. На основании результатов исследования На основании аналитических данных была вычислена усредненная загазованность атмосферного воздуха оксидом углерода II (CO) по формуле Рябикова:

$$CO_0 = (7,33 + 0,26N) \cdot K_1 \cdot K_2 =$$

$$= (7,33 + 0,26 \cdot \frac{52176 + 5568 + 1890 + 294 + 1356}{3 \cdot 11}) \cdot 0,62 = 303,9 мг/м^3$$

,

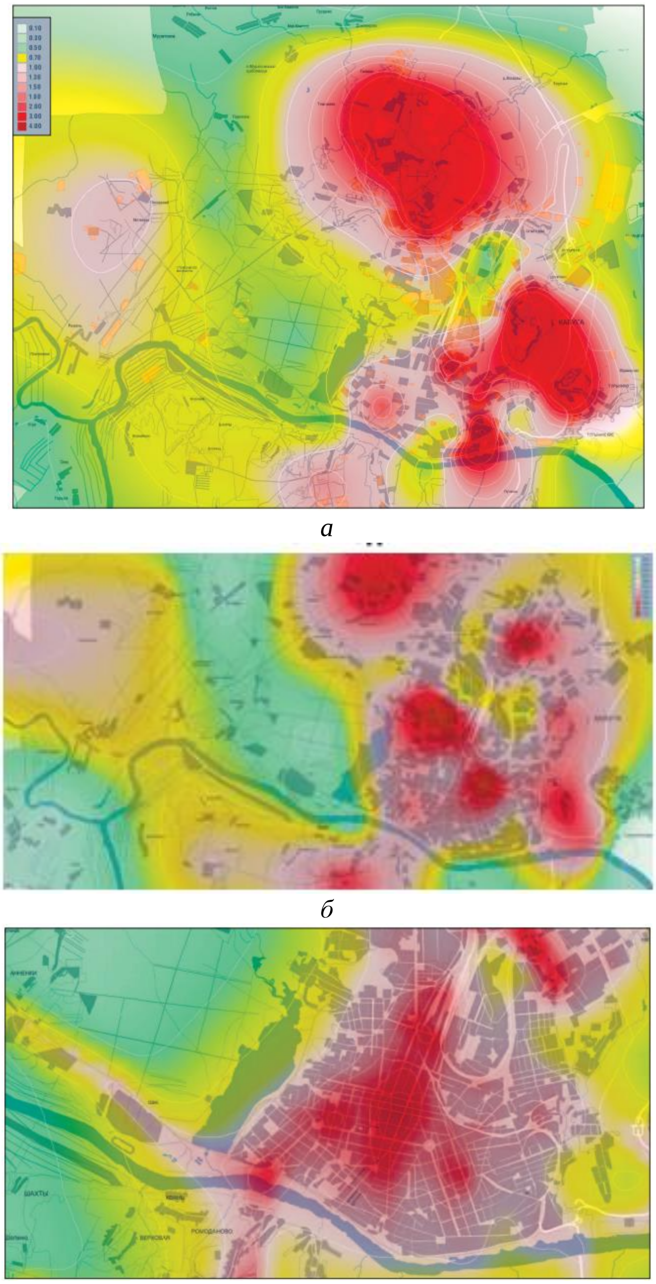
где CO_0 – концентрация оксида углерода у проезжей части дороги, мг/м^3; N – интенсивность движения автомашин с карбюраторным двигателем, авт/ч;

K_1 – коэффициент учета состава транспортного потока и его средней скорости (K_1 = 0, 62, так как доля грузовых автомобилей и автобусов в общем потоке автотранспорты <20%);

K_2 – коэффициент учета влияния продольного уклона дороги (при уклоне <10% K_2 =1).

Полученную концентрацию CO_0 сравнили с ПДК для атмосферы жилого массива (3 мг/м^3) и определили кратность превышения норматива почти в 100 раз [2]. Предположение о повышенном загрязнении зеленого насаждения города выхлопами автотранспорта подтвердилось.

Для получения полной осведомленности о росте концентраций загрязняющих газообразных веществ в атмосферном воздухе был проведен сравнительный анализ с данными за последние три года: с 2015 – 2017 г. Для Калуги наиболее критичными загрязняющими веществами также являются пыль и диоксид азота, причем загрязнение территории города диоксидом азота главным образом обусловлено влиянием автотранспорта. На рисунке 3 представлены концентрации диоксида азота (NO_2), обусловленные выбросами предприятий и автотранспорта в 2015, 2016 и 2017 годах. Из рисунка видно, что превышения предельно допустимых концентраций выявляются в центре города. В период за последние 3 года в результате значительного роста жилого массива и увеличения нагрузки транспортного потока существенно ухудшились показания по количеству диоксида азота, что может привести к опасным для здоровья людей последствиям. Запыленность города связана с экологическими нарушениями при ведении строительных работ, а также с недостатками благоустройства и уборки городских территорий. Поскольку в рамках системы анализа и управления качеством атмосферного воздуха на основе сводных расчетов в Калуге функционирует программа ежемесячных инструментальных измерений, то имеется возможность сравнить прогнозные данные с фактическими. Такое сравнение показывает сходимость рассчитанных и измеренных уровней загрязнения воздуха [3].



а

б

В

Рисунок 3. Карта загрязнения атмосферного воздуха города дикосидом азота (NO_2): а – 2015 год, б – 2016 год, в – 2017 год

Исходя из полученных аналитических данных можно сделать вывод о необходимости создания задач, направленных на решение проблемы, связанной с негативным антропогенным воздействием геометрической прогрессией роста городского автотранспорта в г. Калуге.

Список литературы:

1. Бессер Н.И., Дыхно Я.Н., Куликова И.И., Никулина С.Н., Санютина Я.А., Черняев С.И. Оценка негативного воздействия автотранспорта на воздушные бассейны г. Калуги // Научное обозрение. - 2015. – с.45-52.

2. Лаврентьев Д. Обеспеченность легковыми автомобилями в России по федеральным округам. – Калуга: 2018. – 1 с.

3. ООО фирма «Экоаналитика», Состояние и охрана окружающей среды в Калуге: сборник материалов. // Калуга: 2017. – 68 с. Экоаналитика

4. Сведения аналитического агентства «Автостат» [Электронный ресурс] // URL: https://www.autostat.ru/

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛА ЛОПАТОК СМЕСИТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

Габельченко Наталья Ильинична
Кандидат технических наук, доцент кафедры Машины и технология литейного производства, ВолгГТУ, г. Волгоград
Белов Артем Алексеевич
Аспирант кафедры Машины и технология литейного производства, ВолгГТУ, г. Волгоград
Оганесян Сергей Олегович
Студент кафедры Машины и технологии литейного производства, ВолгГТУ г. Волгоград

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛА ЛОПАТОК СМЕСИТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА
Габельченко Наталья Ильинична
Кандидат технических наук, доцент кафедры Машины и технология литейного производства, ВолгГТУ, г. Волгоград
Белов Артем Алексеевич
Аспирант кафедры Машины и технология литейного производства, ВолгГТУ, г. Волгоград
Оганесян Сергей Олегович
Студент кафедры Машины и технологии литейного производства, ВолгГТУ г. Волгоград

АННОТАЦИЯ

Проведены сравнительные исследования износостойкости металлов применяемых для производства деталей работающих в условиях абразивного износа. Показано, что наилучшим комплексом служебных и механических свойств обладает сталь марки 110Г13Л.

ABSTRACT

Comparative studies of the wear resistance of metals used for the production of parts working under abrasive wear conditions have been carried out. It is shown that steel 110G13L has the best complex of service and mechanical properties.

Ключевые слова: абразивный износ, сталь, чугун, микроструктура
Keywords: abrasive wear, steel, cast iron, microstructure

Абразивное изнашивание деталей машин является достаточно сложным процессом дискретного разрушения материала. Интенсивность износа в основном зависит от соотношения твердости и прочности соприкасающихся тел, от взаимодействия материала с абразивной средой. Материалы с высокой твердостью обычно лучше противостоят абразивному износу, но это правило соблюдается далеко не всегда. В идеале абразивостойкий материал должен сочетать в себе высокую твердость керамики и пластичность металлов [1, 2].

В качестве износостойких материалов деталей, работающих в условиях абразивного износа, используются такие металлы, как чугуны и легированные стали, отличающиеся технологией изготовления — это либо изготовление из листового проката, либо получение заготовок методами литья. В последние годы явным лидером первой группы является шведская износостойкая сталь Hardox 450 с малым содержанием легирующих элементов, представляющая собой износостойкую листовую сталь твердостью 450 HB, предназначенную для условий, к которым предъявляются особые требования к износостойкости [3]. Для литейной же технологии изготовления характерно использование различных сплавов на основе железа, начиная со стали 15, усиленной наплавкой, высоколегированных сталей, например 110Г13Л [4] до высокоуглеродистых сплавов – чугунов.

Методикой работы предусматривалось проведение комплексного исследования железоуглеродистых и легированных сплавов, работающих в условиях абразивного износа. Для исследования были отобраны наиболее часто используемые материалы для изготовления лопаток смесителей, корпусов вихревых и шаровых мельниц, щёк и конусов дробилок, зубьев и передних стенок ковшей экскаваторов и т.д. В ходе исследования определялись: механические свойства и эксплуатационные характеристики данных материалов.

Механические свойства исследуемых материалов представлены в таблице 1 [5].

Таблица 1.
Механические свойства исследуемых металлов [5]

Металл	$\sigma_в$, н/мм^2	$\sigma_т$, н/мм^2	δ, %	ψ, %	KCU, Дж/см^2	HB
Сталь 15*	472	289	27	64	146	143
СЧ 25	247	-	-	-	5	187
Hardox 450	1390	1240	15,5	69	160	415
Сталь 110Г13Л	820	370	34	43	350	280

*Примечание: твёрдость наплавленного металла типа Х10 на сталь 15 составляет 58 HRC.

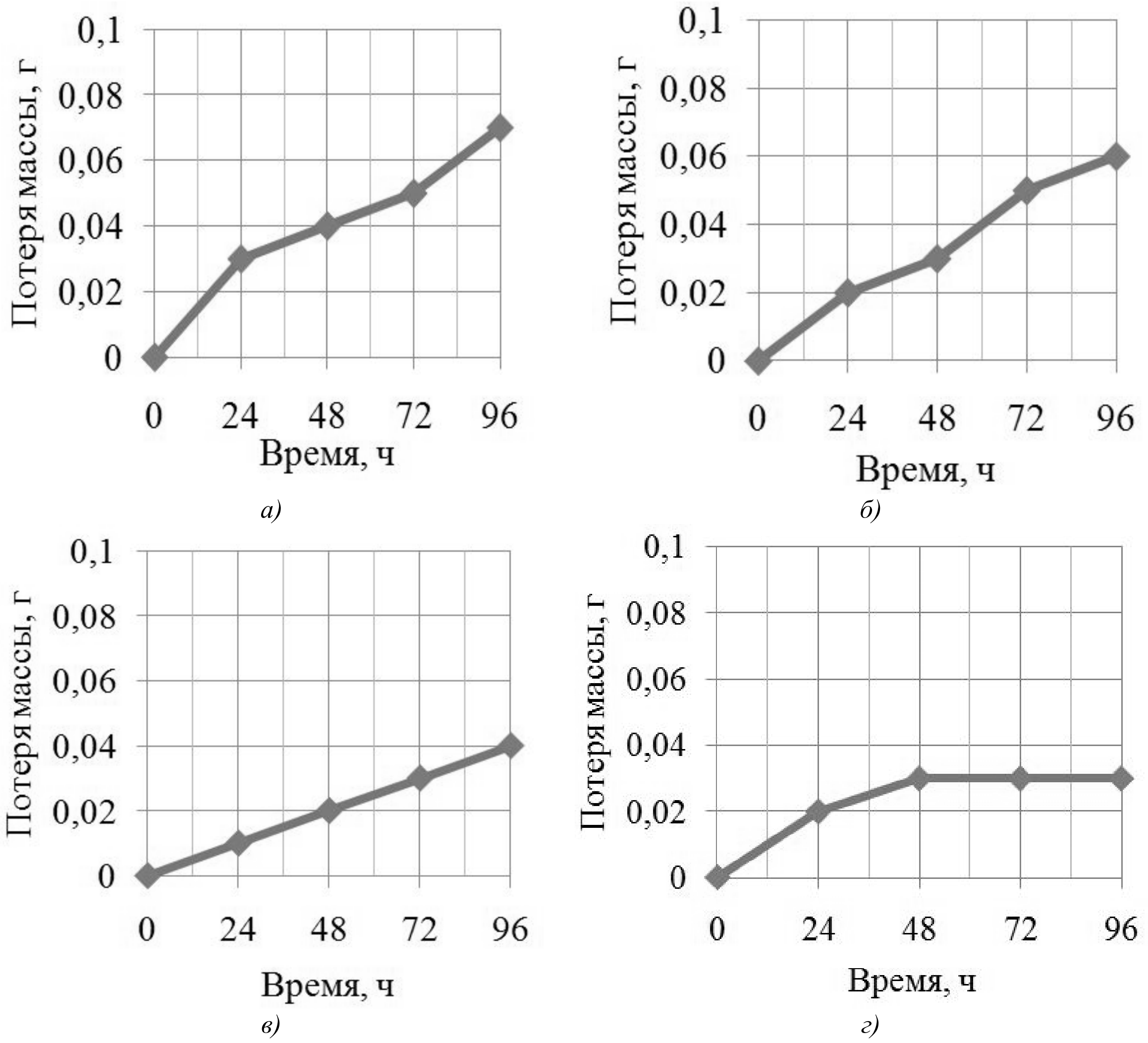
Учитывая, что основным эксплуатационным показателем работы данных материалов является срок службы в условиях абразивного износа, для анализа была спроектирована и собрана карусельная установка на четыре позиции, позволяющая в лабораторных, более жестких условиях, оценить этот показатель. Принцип её работы основан на перемешивании абразивной среды исследуемыми образцами. В качестве абразивной среды использовался грубый остроугольный песок марки 4К$_2$О$_1$03.

Условиями эксперимента предусматривалось проведение нескольких циклов испытаний по 24 часа (количество циклов испытаний ограничивалось потерей массы одним из образцов равной – 0,07 гр.), после которых образцы извлекались из установки, и их износостойкость оценивалась по потере массы.

Образцы представляли собой пластины размером 6х20х30, которые вырезались из металла новых лопаток смесителя – пневмонагнетателя «СО - 241».

Эксперимент был разделён на четыре цикла по 24 часа. После каждого цикла проводилось контрольное взвешивание образцов с точностью до 0,01 г. Точность взвешивания и минимальная потеря массы были выбраны для возможности корреляции полученных результатов с испытаниями, регламентируемыми ГОСТ 17367-71.

Результаты определения износостойкости образцов исследуемых сплавов представлены на рис. 1.



а) б)

в) г)

Рисунок 1. Потеря массы образцов :
а – Сталь 15 с наплавкой Х10; б – СЧ 25; в – Сталь Hardox 450; г – Сталь 110Г13Л

Анализируя проведенные испытания на износостойкость исследуемых материалов необходимо отметить, что максимальную потерю массы, а значит и максимальный износ показали образцы из стали 15 с наплавленным слоем Х10 – 0,07 г и из серого чугуна СЧ 25 – 0,06 г, соответственно наименьший износ наблюдался у образцов из стали 110Г13Л и стали Hardox 450. Сравнивая между собой потери массы сталью Hardox 450 – 0,04 г и сталью110Г13Л – 0,03 г важно отметить, что на первом цикле образец из высокомарганцовистой стали изнашивался интенсивнее чем из стали Hardox 450, однако на втором цикле износ стали 110Г13Л стал снижаться, а на третьем и четвёртом циклах, где сталь Hardox 450 продолжала изнашиваться с прежней интенсивностью, у стали 110Г13Л износ практически не наблюдался, так как в процессе работы поверхностные слои данной стали претерпевают поверхностное упрочнение и становятся устойчивым к абразивному износу [4]. Учитывая эти результаты можно предположить, что при увеличении срока службы рабочих поверхностей деталей в реальных условиях, разница в потере массы рассмотренных материалов будет все больше проявляться. Поэтому сталь 110Г13Л показала наилучший результат в проведенной серии экспериментов.

Таким образом, комплексные исследования материалов лопаток смесителей, позволили рекомендовать сталь 110Г13Л использовать в качестве материала, работающего в условиях не только ударно - абразивного, но и чисто абразивного износа.

Список литературы:

1. Иголкин, А.И.Абразивостойкие наплавленные плиты и трубы для горной техники / А. И. Иголкин, Ю. В. Зеленин [Текст] // Горный журнал. - 2011. - N 2. - С. 57-59. - ISSN 0017-2278. - (Оборудование и материалы).

2. Хрущев М.М. Абразивное изнашивание [Текст]/ М.М. Хрущев, М.А. Бабичев// М.: Наука, 1970. 251 с.

3. Исследование металлов лопаток смесителя-пневмонагнетателя / А.Ал. Белов, Р.И. Искендеров, О.А. Мишустин, Н.И. Габельченко, Е.Ю. Карпова // «Страна живёт, пока работают заводы» : сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. (9-10 дек. 2015 г.) / отв. ред. О.В. Овчинкин ; Юго-Западный гос. ун-т [и др.]. - Курск, 2015. - С. 52-55.

4. Влияние содержания углерода на износостойкость марганцевого аустенита при абразивном изнашивании [Текст]/ М.А. Филиппов, Е.С. Студенок, Н.Б. Андриановская, О.В. Дворецкий // Сб. «Термическая обработка и физическое металловедение». Свердловск: УПИ, 1990. С. 125-132.

5. Исследование износостойких материалов лопаток для смесителей – пневмонагнетателей / Н.И. Габельченко, А.Ал. Белов, Н.А. Кидалов, А.И. Габельченко, Н.В. Волкова // Известия Самарского научного центра РАН. - 2016. - Т. 18, № 1. - С. 175-178.

УДК 621.310: 691.54

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

Одамов Умарбай Оманович
Канд.тех.наук, старший научный сотрудник
ООО Научно-технический центр АО "Узбекэнерго" г.Ташкент

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается вопрос влияния технологических факторов на удельный расход электроэнергии при производстве цемента на предприятии АО "Ахангаранцемент". Приведены кривые поправок к удельному расходу электроэнергии в зависимости от тонкости помола сырья и клинкера с добавками, влажности шлама и клинкера, температуры отходящих газов и пылеуноса. Показано, что угрубление тонкости помола сырья до верхнего предела технологической карты приводит к снижению удельного расхода электроэнергии. Получены числовые значения поправок на влияние отдельных факторов, влияющих на удельное электропотребление. Применены многофакторный корреляционный и регрессионный анализы и получена полиномиальная модель удельного расхода электроэнергии в производстве цемента.

Ключевые слова: удельный расход электроэнергии, помол сырья, влажность шлама, клинкер, цемент.

ABSTRACT

The article discusses the influence of technological factors on the specific energy consumption in the production of cement at JSC "Akhangarancement". Correction curves are given for specific energy consumption depending on the fineness of grinding raw materials and clinker with additives, moisture of sludge and clinker, temperature of flue gases and dust removal. It is shown that the refinement of the fineness of grinding raw materials to the upper limit of the technological map leads to a decrease in the specific energy consumption. The obtained numerical values of the corrections for the influence of individual factors affecting the specific power consumption. A multifactor correlation and regression analysis was applied and a polynomial model of specific energy consumption for cement production was obtained.

Keywords: specific energy consumption, raw materials grinding, sludge moisture, clinker, cement.

На удельный расход электроэнергии влияет целый ряд технологических факторов, колебания которых носят случайный характер и подчиняются вероятностным законам. По многим из них отсутствует систематическая информация, поскольку они не входят в перечень показателей, учитываемых производством.

В данной статье излагаются результаты исследования по влиянию технологических факторов на удельный расход электроэнергии при производстве цемента на предприятии АО "Ахангаранцемент".

Для анализа выполнен объем исследований, который включает в себя как оценку отдельного фактора, так и влияние их в общей совокупности.

В результате, по материалам [1,2,3,4,5 и др.] и данным эксплуатации получены численные значения отклонения удельного электропотребления под влиянием изменения отдельных технологических факторов.

Рассмотрим последовательно каждый из них.

1. Тонкость помола сырья.

ГОСТом предусмотрена тонкость помола сырья до 10% остатка на сите №008. В эксплуатационных условиях процент остатка на сите №008 составляет 5-6%.

Общеизвестно, что при угрублении помола сырья производительность помольного агрегата при прочих равных условиях увеличивается. Увеличение остатка на сите №008 до 20% приводит к увеличению производительности сырьевых мельниц до 40% (за 100% принята производительность мельницы при 10% остатке на сите №008). При достаточной длине печи возможно использование шлама более крупного помола, т.к. в длинных печах условия подготовки материала лучше, чем в коротких за счет длительности пребывания материала.

Опыт работы на печах размерами 4,5х170м на газообразном топливе АО «Ахангаранцмент» показал, что подготовка материала при обжиге шлама угрубленного помола была такая же, как и при обжиге шлама нормального помола (содержание свободной извести меньше 1%), т.е. качественные и количественные показатели практически оставались не неизменными.

Таким образом, при изменении тонкости помола (при постоянстве остальных параметров) необходимо ввести поправочный коэффициент (q_R) на производительность трубной мельницы (табл.1.)

Таблица 1.Значение поправочного коэффициента q_R на тонкость помола

Тонкость помола (остаток на сите №008 R_0	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
q_R	0,588	0,655	0,715	0,768	0,818	0,865	0,912	0,950	1,0	1,04	1,09	1,13	1,17	1,25	1,30	1,34

Приращение удельного расхода электроэнергии в зависимости от тонкости помола выражается следующей формулой:

$$\pm d_{R_0} = \frac{P}{A} \cdot \frac{1-q_R}{q_R} \qquad (1)$$

где, А-производительность сырьевой мельницы, соответствующая 10% остатку на сите №008, т/час;

Р – потребляемая мощность сырьевой мельницы кВт·час;

d_{R_0}- поправочного коэффициента на тонкость помола.

На рис.1. приведена кривая поправок к удельному расходу электроэнергии в зависимости от тонкости помола Δ d_{R_0}=f(R_0). Фактическая тонкость помола по средним данным за две смены составила для сырьевых 1,2,3,4, соответственно, 7,0%, 5,7%, 6,2%, 6,1%, т.е. в среднем около 6,0%.

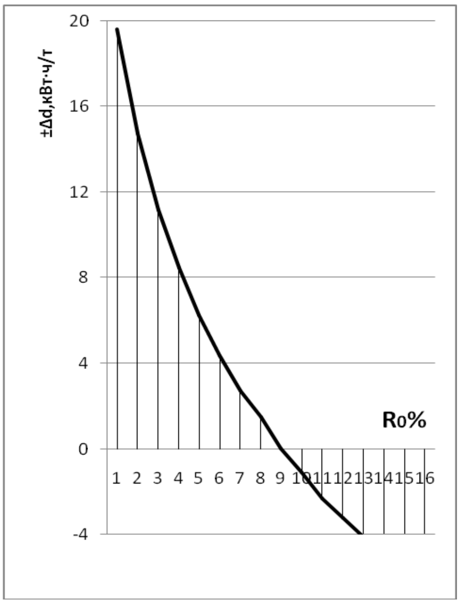


Рис.1. Приращение удельного расхода электроэнергии в зависимости Δ d_{R_0} =f(R_0) от тонкости помола.

Таким образом доведение тонкости помола с 6,0% до нормальной тонкости, т.е. до 10% позволит повысить производительность сырьевых мельниц до 18% и снизить расход электроэнергии на 3 кВт·ч/т или 15%.

2. Тонкость помола клинкера и добавок

Для цементных мельниц, аналогично сырьевой мельнице, также предусмотрена тонкость помола клинкера и добавок до 10% остатка на сите №008. Однако в производственных условиях и в данном случае наблюдаются отклонения от нормальной тонкости помола, которые могут быть учтены поправочными коэффициентами (q_R) на тонкость помола (таблица 1).

Изменение удельного расхода электроэнергии (Δd) при различной тонкости помола рассчитывается по формуле (1).

3. Влажность шлама

Шламы – сметанообразная жидкость. В зависимости от физико-химических свойств и сохранения текучести, необходимой для его транспортировки, он содержит в себе от 30% до 50 % воды. Каждое предприятие имеет утвержденную технологической картой влажность.

Отклонение влажности от нормальной приводит к изменению производительности удельного расхода электроэнергии. Это вызывает необходимость корректировки шлама по влажности, т.к. в противном случае изменяется производительность вращающихся печей.

Повышения влажность размалываемого материала вызывает налипание его на мелющие тела, приводящее, особенно при недостаточной интенсивности аспирации мельницы, к резкому падению её производительности и укрупнению помола. При помола холодного клинкера (60^0-70^0) налипание отсутствует.

Исследования влияния влажности материала на процесс помола показали, что при содержании влаги в клинкере до 1% наблюдается значительное повышение эффективности его измельчения.

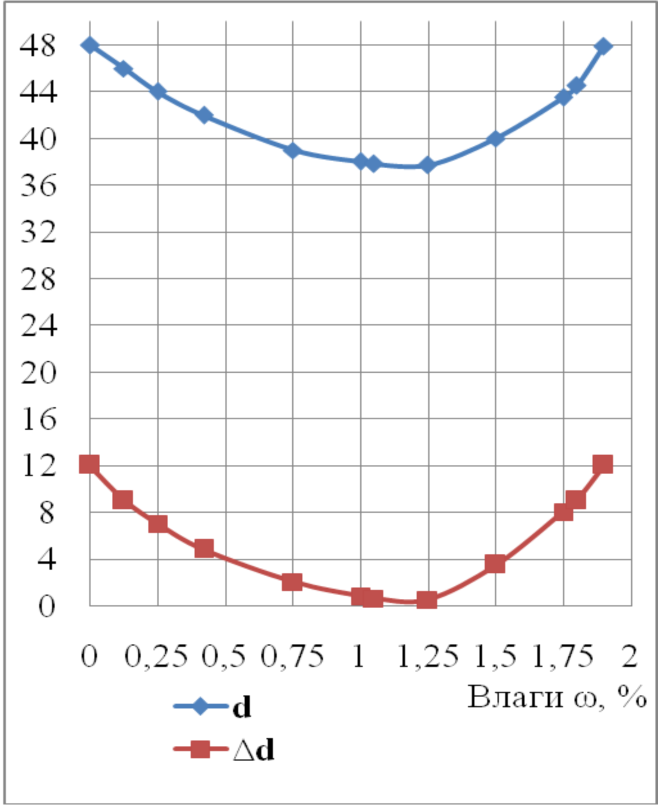


Рис.2. Влияние влажности материала на удельный расход электроэнергии при помоле клинкера

На рис.2. видно, что наименьшие удельные расходы электроэнергии на помол клинкера наблюдаются при влажности 1-1,25% отклонения от указанного процента влаги приводит к резкому увеличению удельного расхода на единицу продукции при той же удельной поверхности.

Уменьшение влажности обжигаемого шлама на 1% в интервале 32-48% приводит к уменьшению удельного расхода электроэнергии на производство клинкера на 0,7 кВт·ч/т или 1,1%.

4. Температура отходящих газов

Наиболее важным условием для ведения нормального обжига во вращающихся печах является поддержание заданных температур по зонам печи - температуры отходящих газов, зоны спекания, зоны кальцинирования и др.

Значительное влияние оказывает на производительность и, соответственно, на удельные показатели электропотребления при обжиге клинкера температура отходящих газов.

Приращение удельного расхода электроэнергии в зависимости от температуры отходящих газов определяется по формуле.

$$\pm\Delta d = \frac{P}{A_0}\left(\frac{1}{K_0}\text{-}1\right) \qquad (2)$$

Здесь, А-производительность, соответствующая 10% пылеуносу и температуре отходящих газов 250^{0}С, т/час;

Р – потребляемая мощность сырьевой мельницы кВт·час;

K_0- коэффициент учитывающий температуру отходящих газов.

При возрастании температуры отходящих газов от 160^{0}С до 280^{0}С возрастает производительность, и величина снижения удельного расхода электроэнергии на обжиг клинкера составляет 7 кВт·ч/т.

5. Пылеунос

Значительное влияние на энергетические показатели оказывает работа электрофильтров. В условиях эксплуатации электрофильтры по различным причинам зачастую не работают, а если к тому же отсутствует компенсация потерь на пылеунос дополнительной подачей шлама- производительность печи снижается.

При частичной работе и при неработающих электрофильтрах наблюдается безвозвратный пылеунос. При этом приращение удельного расхода электроэнергии на обжиг клинкера может вычисляться по формуле (2).

Здесь, А-производительность печи, при 10% пылеуносе т/час;

K_0- коэффициент пылеуноса [6].

Влажность шлама, температура отходящих газов и пылеунос влияют также на величину общезаводского удельного расхода электроэнергии на производство клинкера. Увеличение пылеуноса на 1% приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии на 0,5 кВт·ч/т или 0,8%.

6. Исследование комплексного влияния технологических факторов на удельный расход электроэнергии при производстве цемента

Анализ комплексного влияния технологических факторов на удельный расход электроэнергии на производство цемента выполнен методом многофакторного корреляционного и регрессионного анализа.

Нами установлено, что на производительность и на удельный расход электроэнергии в различной степени влияет следующие факторы:

X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 - соответственно, коэффициенты использования по времени цементных мельниц, вращающихся печей, компрессоров, сырьевых мельниц и дымососов, %;

X_6, X_7 - тонкость помола и клинкера и добавок, определяемая остатком на ситах, размерами, соответственно, -№2 и №008,%;

X_8 - титр известняка (процентное содержание СаО),%;

X_9 - влажность шлама, подаваемого в печь,%;

X_{10} - тонкость помола сырья, определяемая остатком на сите размером № 02, %;

X_{11}, X_{12} - соответственно, остаток клинкера и шлама на складах (незавершенная продукция), т;

X_{13} - коэффициент загрузки цементных мельниц мелющими телами (отношение фактического суммарного веса мелющих тел к их нормальному суммарному весу);

Y_3 - удельный расход электроэнергии на одну тонну портландцемента марки М-400, кВт·ч/т.

К числу не включенных многофакторный анализ из-за недостатков и неполноты оперативного учета относятся температура отходящих газов вращающихся печей, скорость воздуха в полости барабана цементной мельницы, пылеунос, гранулометрический состав обрабатываемых материалов и др.

Учитывая, что удельный расход электроэнергии, являясь функцией производительности, в рабочей зоне энергетической характеристики d=f(П) изменяется по прямой линии, выбрана прямолинейная, математическая модель, которая облегчает решение задачи, а главное увеличивает возможность практического её использования.

Доказана нормальность распределения удельного расхода электроэнергии по критерию Пирсона ($\chi^2_{\text{эмп.}} = 6{,}61 < \chi^2_{\text{теор.}} = 12{,}59$).

Проведены статический анализ электроэнергетических и технологических показателей АО "Ахангаранцемент".

По итогам исследований получены следующие результаты:

1. Рассчитаны и приведены кривые поправок к удельному расходу электроэнергии в зависимости от тонкости помола сырья и клинкера с добавками, влажности шлама и клинкера, температуры отходящих газов, пылеуноса и т.д.

2. Показано, что угрубление тонкости помола сырья до верхнего предела технологической карты приводит к снижению удельного расхода электроэнергии; увеличение влажности шлама на 1% приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии на 0,8%; наименьшее значение удельного электропотребления наблюдается при влажности клинкера и добавок 1-1,25%.

3. Полученные числовые значения поправок на влияние отдельных факторов, влияющих на удельное электропотребление, дают возможность вводить необходимые коррективы в плановые показатели предприятия, а также дать оценку этого показателя при анализе электропотребления.

4. Применение многофакторного корреляционного и регрессионного анализа позволяет выявить основные нормообразующие факторы, получить полиномиальную модель удельного расхода электроэнергии на производство цемента с достаточной для практического использования точностью.

Список литературы:

1.Дешко Ю.Н., Креймер М.Б.,Крыхтин Г.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. Стройиздат.М.1966.-270с.

2. Гипроцемент. Труды вып.XXXV. Стройиздат.М.1968.

3. Крыхтин Г.С., Пироцкий В.З., Рояк Г.С. влияние воды, вводимой в мельницу, на процесс клинкера. "Цемент", 1961.

4. Справочник по проектирования цементных заводов (под редакцией Р.Д.Данюшевского), Стройиздат.М.1989.

5. Камалов Т.С., Одамов У.О., Шавазов А.А. Режимы электрических нагрузок процессов помола

сырья в производстве цемента. Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики» 2018г.№4.

6. Дешко Ю.Н., Креймер М.Б.,Огархова Т.А. Наладка и теплотехнические испытания вращающихся печей на цементных заводах. Стройиздат.М.1966.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В ОТРАБОТАВШИХ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ АВТОМОБИЛЕЙ

Суфиянов Ракип Шайхиевич

Доктор технических наук, профессор кафедры естественно-научных дисциплин и информатики, Бронницкий филиал Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, г. Бронницы Московская область

АННОТАЦИЯ

Проведен краткий анализ экологической обстановки в г. Москве – мегаполисе, известным высокой концентрацией автомобильного транспорта. Приведены сведения о токсичности углеводородов, содержащихся в выхлопных газах. Представлены результаты определения их концентрации. Работы проведены с помощью газоанализатора «АВТОТЕСТ-02.03». Приведено описание методики проведения эксперимента.

ANNOTATION

A brief analysis of the environmental situation in the city of Moscow, a megapolis known for its high concentration of road transport, was carried out. Provides information on the toxicity of hydrocarbons contained in the exhaust gases. The results of determining their concentration are presented. The work was carried out with the help of the gas analyzer "AVTOTEST-02.03". A description of the methodology of the experiment.

Ключевые слова: экологические проблемы мегаполисов, отработавшие выхлопные газы, углеводороды, концентрация.

Keywords: environmental problems of megacities, exhaust exhaust gases, hydrocarbons, concentration.

По данным, приведенным в докладе Департамента природопользования г. Москвы, в начале 2017 года автомобильный парк столицы составляли 90,4% - легковые автомобили, 8,5 % – грузовые автомобили, 1,1% – автобусы. По сравнению с 2015 годом в 2016 году автопарк Москвы вырос на 278 тыс. ед.

Анализ количества валовых выбросов загрязняющих веществ, выбрасываемых автотранспортом столицы, показал, что наибольший вклад вносят грузовой транспорт и автобусы (не смотря на то, что их существенно меньше, чем легковых автомобилей), т.к. для них характерны большие пробеги, высокие удельные выбросы, а установленные на них двигатели имеют низкие экологические характеристики по сравнению с легковыми автомобилями.

При этом отмечается, что основную долю выбросов в атмосферу столицы в 2016 году внесли: оксид углерода (CO), оксиды азота (NO_x) и летучие углеводороды (C_nH_m), среди которых вещества 1 и 2 классов опасности [1], их процентное соотношение представлено на рисунке 1.

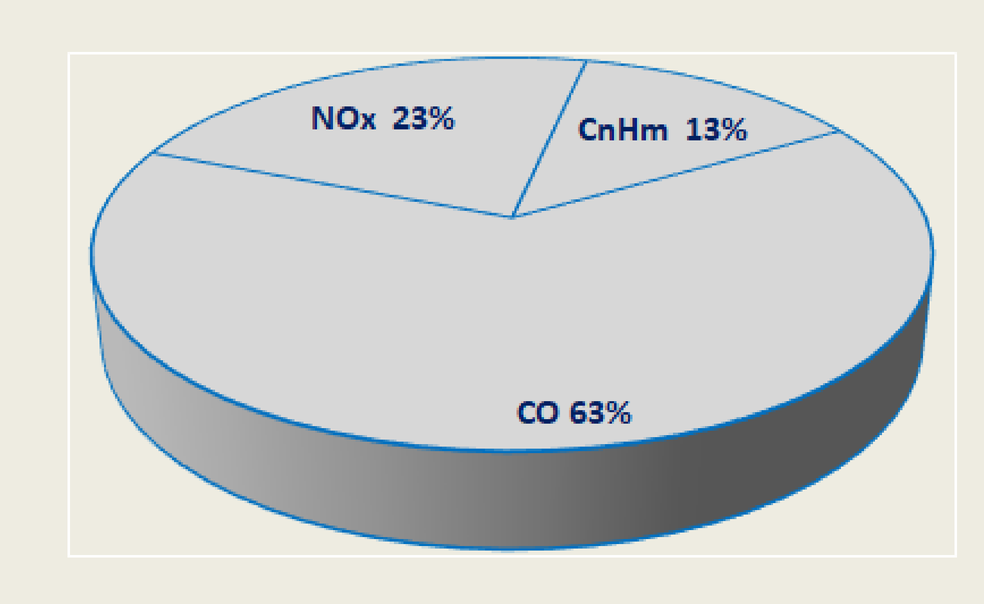


Рис. 1 Распределение основных загрязняющих веществ

В выхлопных газах содержится более 200 различных углеводородов, среди них: предельные углеводороды (раздражают слизистую оболочку, практически не имеют запаха, обладают наркотическим действием); непредельные углеводороды (раздражают слизистую оболочку, участвуют в образовании смога и озона); ароматические углеводороды (поражают нервную систему, обладают канцерогенными свойствами). Углеводороды в силу своих канцерогенных и токсичных свойств являются причиной многих хронических заболеваний.

Содержание углеводородов в выхлопных газах возрастает при дросселировании, при работе двигателя на режимах принудительного холостого хода, например, при торможении двигателем. При работе двигателя в этих случаях снижаются эффективность образования горючей смеси и скорость сгорания воздушно-топливной смеси. В результате двигатель работает неустойчиво и в системе выпуска появляется значительное количество не полностью сгоревших углеводородов.

С целью оценки влияния числа оборотов двигателя на содержание углеводородов в выхлопных газах автомобиля были проведены соответствующие эксперименты. При этом работы проводились в два этапа.

На первом этапе проводили определение содержания углеводородов в выхлопных газах в период запуска и прогревания двигателя. На втором этапе определяли содержание углеводородов в выхлопных газах уже прогретого двигателя. Измерение концентрации углеводородов в отработавших газах осуществлялось газоанализатором «АВТОТЕСТ-02.03». Принцип действия прибора основан на измерении величины поглощения инфракрасного излучения источника молекулами углеводородов в области 3,4 мкм.

Проба анализируемого газа поступает в проточную зеркальную кювету, где углеводороды, взаимодействуя с излучением, вызывают поглощение в соответствующем спектральном диапазоне.

Поток излучения характерной области спектра выделяется вращающимся интерференционным фильтром и преобразуется в электрический сигнал, пропорциональный концентрации углеводородов.

Эксперименты проводили при трех значениях числа оборотов (n), соответственно, при 1000, 2000 и 3000 об/мин. На рисунках 2 и 3 представлены результаты, полученные на «холодном» и прогретом двигателе легкового автомобиля 2015 года выпуска.

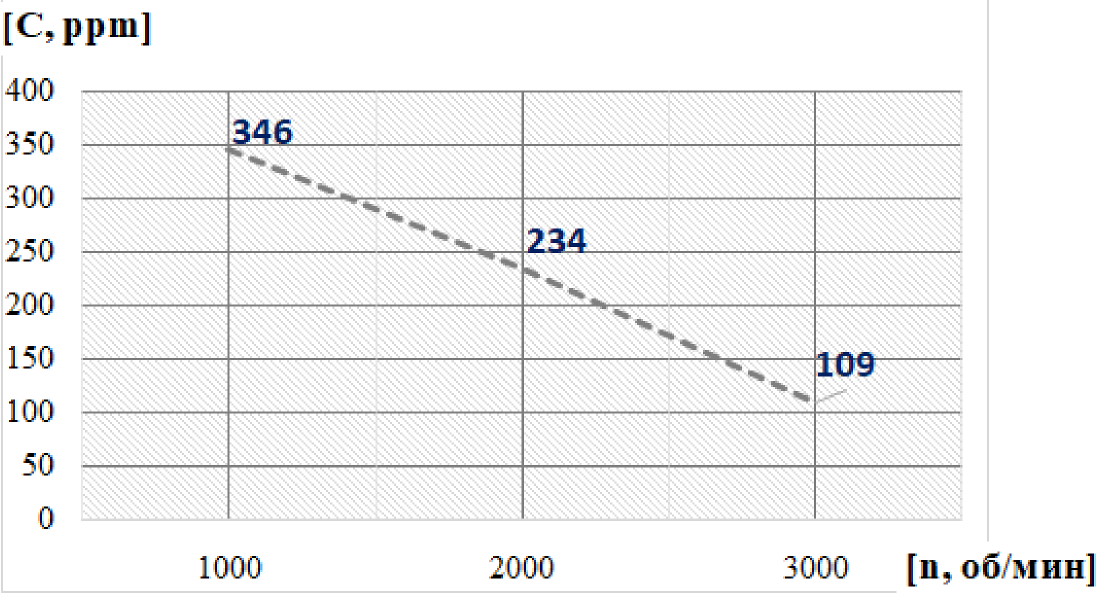


Рис. 2 Результаты измерения концентрации углеводородов на «холодном» двигателе

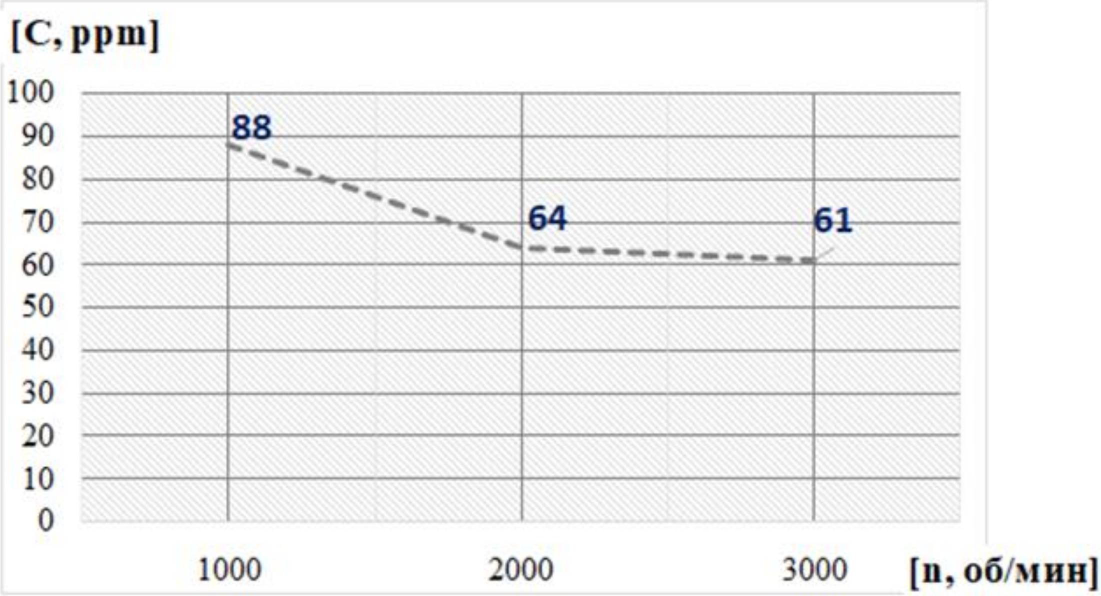


Рис. 3 Результаты измерения концентрации углеводородов на прогретом двигателе

Исходя из того, что ПДК углеводородов в воздухе рабочей зоны составляет 300 мг/м^3, можно сделать следующие выводы. Превышение ПДК наблюдалось в начале работы автомобиля («холодный» двигатель) и на малых оборотах (n=1000 об/мин), далее по мере прогревания двигателя концентрация углеводородов снизилась и находилась в диапазоне ниже ПДК.

Полученные результаты не претендуют на особую оригинальность и направлены, прежде всего, на то обстоятельство, что автомобиль, оборудованный ДВС, работающим на углеводородном топливе, является источником загрязнения и поэтому необходимость применения альтернативных источников энергии является актуальной проблемой современности. Ведь даже не смотря на то, что ДВС может находится в отличном исправном состоянии, он все равно выделяет опасные вещества, а меры принимаемые по улучшению качества моторного топлива, обновление автопарка и др. в конечном итоге не способствуют кардинальному решению проблемы сохранения экологически благополучной среды.

Является отрадным тот факт, что в столице появились признаки поощрения использования новых, экологически дружественных транспортных средств. В частности, для стимулирования использования электромобилей их владельцам предоставлена льгота в виде права бесплатной парковки на платных государственных паркингах. Увеличивается число зарядных станций, всего планируется установить в Москве 150 зарядных станций.

Список литературы

1. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году» /Под ред. А.О.Кульбачевского. - М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП, 2017. – 363 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА УГЛЕРОДА В ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ

Суфиянов Ракип Шайхиевич
Доктор технических наук, профессор кафедры естественно-научных дисциплин и информатики, Бронницкий филиал Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета, г. Бронницы Московская область

АННОТАЦИЯ

Ежегодное увеличение количества эксплуатируемого автомобильного транспорта приводит к возрастанию негативного воздействия на окружающую среду, в особенности на состояние атмосферного воздуха. Данная проблема характерна для многих городов и наиболее остро она проявляется в мегаполисах. Целью работы было исследование химического состава отработанных выхлопных газов, выделяющихся при работе двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Были проведены работы по определению концентрации оксида углерода СО (угарного газа) в выхлопных газах в зависимости от числа оборотов ДВС.

ANNOTATION

The annual increase in the number of used road transport leads to an increase in the negative impact on the environment, especially on the state of the atmospheric air. This problem is typical for many cities and is most acute in the megalopolises. The aim of the work was to study the chemical composition of waste exhaust gases emitted during the operation of internal combustion engines (ICE). Work was carried out to determine the concentration of carbon monoxide CO (carbon monoxide) in the exhaust gases, depending on the number of revolutions of the engine.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, выхлопные газы, оксид углерода, негативное воздействие на атмосферу.

Keywords: automobile transport, exhaust gases, carbon monoxide, negative impact on the atmosphere.

Появление и дальнейшее совершенствование двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является очень важным революционным этапом в истории развития цивилизации и хотя этот этап начался сравнительно не так давно, человечество сделало за этот относительно короткий период времени огромный скачок: от первого поршневого двигателя, изобретенного в начале XIX века до современных автомобилей различных моделей и модификаций.

Во всем мире с каждым годом увеличивается количество произведенных и эксплуатируемых автомобилей и данная тенденция характерна и для нашей страны. Известно также, что выбросы загрязняющих веществ от автомобильного транспорта вносят существенный «вклад» в загрязнение атмосферного воздуха и особенно это проявляется в крупных городах.

Одними из опасных и токсичных загрязняющих веществ, содержащихся в выхлопных газах автотранспорта, являются оксид углерода (угарный газ). Оксид углерода (CO) это бесцветный газ, не имеющий запаха, образующийся при в результате неполного сгорания топлива. При вдыхании угарный газ из-за имеющейся в его молекуле тройной связи (C≡0) образует прочные комплексные соединения с гемоглобином крови человека и перекрывает доступ кислорода в организм. Появляются головные боли, тошнота, а более высокая концентрация приводит к летальному исходу.

На рисунке 1 представлено распределение выбросов оксида углерода по федеральным округам (по данным Росприроднадзора [1] на 2016 год). Как видно из гистограммы по выбросам CO в атмосферу от автотранспорта лидирует Центральный федеральный округ, затем следуют Приволжский и Сибирский федеральные округа, а меньше всего приходилось на долю Дальневосточного федерального округа.

Среди субъектов Российской Федерации по объемам выбросов от автотранспорта лидирует Москва. Автомобильный парк Москвы насчитывает около 5 млн единиц. и по прогнозам суммарная численность автопарка к 2020 г. может достичь 5,5 млн единиц.

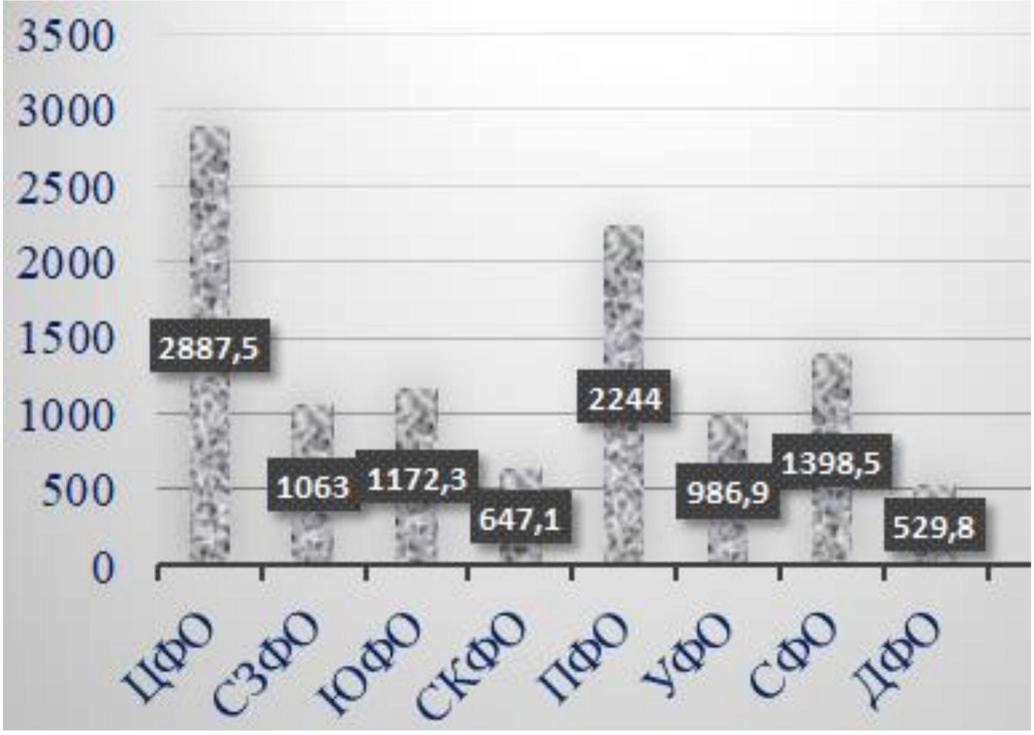


Рис. 1 Распределение выбросов оксида углерода по федеральным округам России, тыс.т (ЦФО – Центральный ФО, СЗФО – Северо-Западный ФО, ЮФО – Южный ФО, СКФО – Северо-Кавказский ФО, ПФО – Приволжский ФО, УФО – Уральский ФО, СФО – Сибирский ФО, ДВО – Дальневосточный ФО)

Особенно опасными объектами в крупных городах являются автомобильные тоннели во время аварийных остановок автотранспорта или в часы «пик», когда нередко возникают «пробки» [2]. В это время автомобили стоят, как правило, с работающими двигателями, что приводит к резкому повышению концентраций в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, особенно оксида углерода.

Целью работы было определение концентрации СО в выхлопных газах автомобиля в зависимости от числа оборотов двигателя. Были проведены соответствующие эксперименты. Концентрацию СО определяли с помощью газоанализатора «АВТОТЕСТ-02.03». На рисунке 2 представлена схема отбора и подготовки пробы.

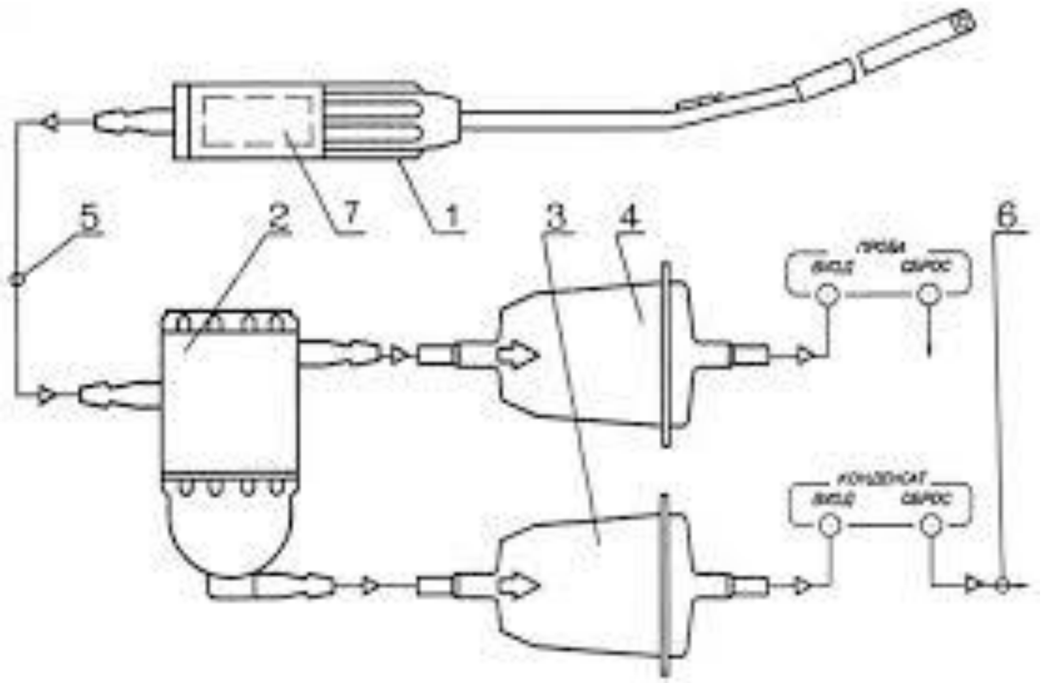


Рис. 2 :1 - пробозаборник; 2 - каплеуловитель; 3, 4, 7- фильтры; 5, 6, 8, 9, 10 - трубки.

Эксперименты проводили на «холодном» и прогретом двигателе легкового автомобиля. На рисунках 3 и 4 представлены соответствующие полученные результаты.

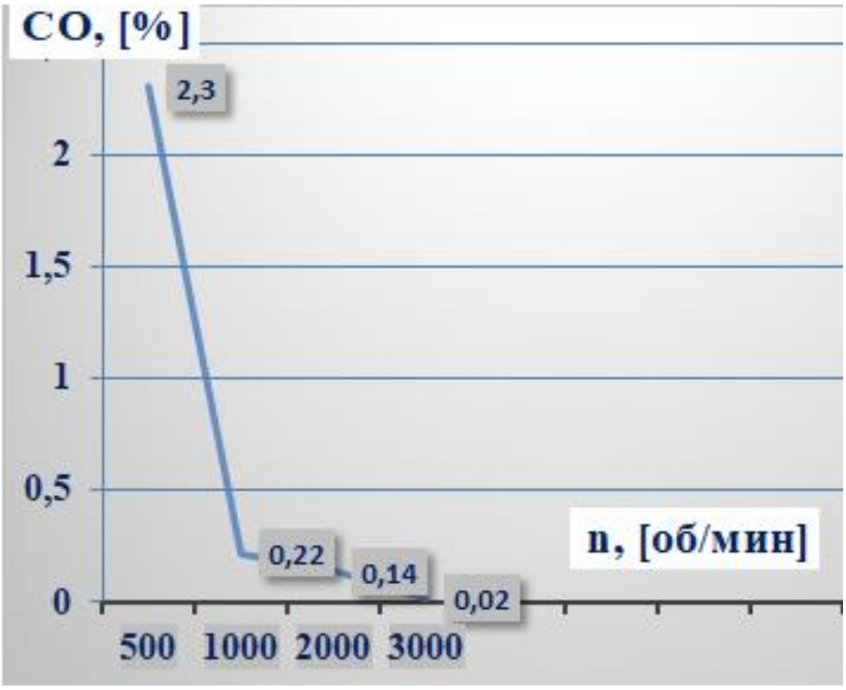


Рис. 3 Изменение концентрации СО в зависимости от числа оборотов (n) ДВС («холодный» двигатель)

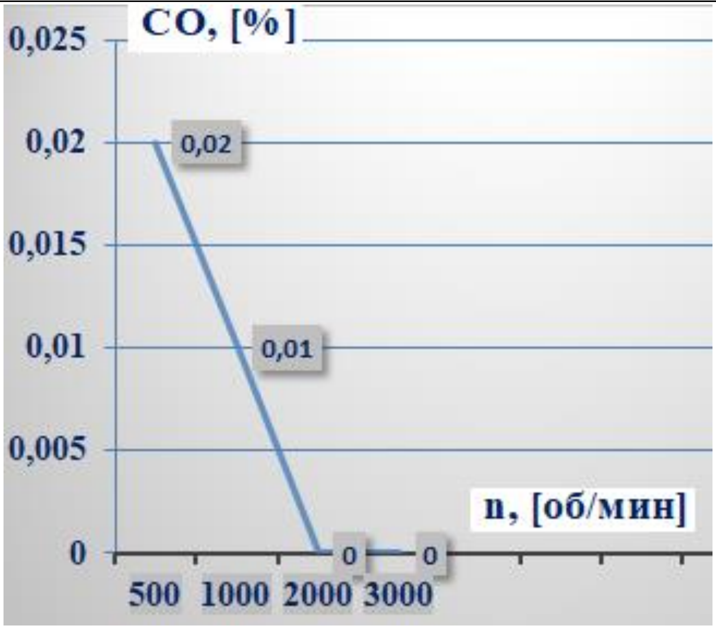


Рис. 4 Изменение концентрации CO в зависимости от числа оборотов (n) ДВС(прогретый двигатель)

При этом значения коэффициента избытка воздуха (λ) практически оставались неизменными и незначительно менялись в интервале от 0,993 до 1,026.

Проведенные эксперименты показали, что наибольшее количество оксида углерода выделяется при пониженных оборотах работы ДВС и это необходимо учитывать при эксплуатации автотранспорта. В особенности на это обстоятельство необходимо обращать внимание во время запуска двигателя и его прогревания. в самом начале эксплуатации автомобилей, размещаемых на закрытых стоянках и гаражах.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2016 году»
2. Белов А.И., Суфиянов Р.Ш. Очистка воздуха в автомобильных тоннелях озонированием /Сборник научных трудов II международной научно-практической конференции с научной школой для молодежи «Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии». Тверской государственный технический университет. 2016. – С.110-112.

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ

Центер Ирина Михайловна
Канд. тех. наук, г. Улан-Удэ
Хандархаева Марина Сергеевна
Канд. тех. наук, г. Улан-Удэ
ФГБУН Байкальский институт природопользования СО РАН.

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2018.9.56.42-47

АННОТАЦИЯ – Изучено влияние прямого кавитационного воздействия, инициируемого роторным гидродинамическим аппаратом, на процессы обеззараживания воды. На примере модельных водных растворов показана принципиальная возможность применения метода гидродинамической кавитации для инактивации Escherichia coli и вегетативных клеток Bacillus cereus.

ABSTRACT – The direct effect of cavitation, initiated by the rotary hydrodynamic apparatus on the process of water disinfection, was studied. The principal possibility of application of hydrodynamic cavitation method for inactivating Escherichia coli and Bacillus cereus vegetative cells in model aqueous solutions was shown.

Ключевые слова: гидродинамическая кавитация, обеззараживание воды, микроорганизмы, инактивация.
Key words: hydrodynamic cavitation, water disinfection, microorganisms, inactivation.

Как известно, методы обеззараживания воды условно подразделяют на реагентные (химические), безреагентные (физические) и комбинированные [1]. К химическим относятся, в первую очередь, хлорирование, озонирование, применение препаратов серебра, меди, йода и др. Однако, они не лишены серьезных недостатков: образование побочных токсичных продуктов, полное ингибирование процессов самоочищения в водоемах (при хлорировании), рост железобактерий в присутствии озона и т.д.

Современные требования к питьевой воде, сбросам сточных вод устанавливают жесткие ограничения на остаточное содержание реагентов, используемых для обеззараживания жидкостей, содержание вредных и опасных веществ. В связи с этим, растет интерес к безреагентным методам обработки жидких сред. Безреагентные методы очистки и дезинфекции не загрязняют природную среду химическими веществами, не оказывают вредного или раздражающего воздействия на организм человека при контакте с очищенной водой и другими жидкостями [2]. К таким методам относится ультрафиолетовое облучение, электроразрядная и кавитационная обработки и другие способы физического воздействия на жидкости.

Известно, что ультрафиолетовое излучение (УФ), оказывает бактерицидное, вирулицидное и спороцидное действие. Однако, зависимость бактерицидного действия УФ обработки от цветности и мутности, а также возможность осаждения содержащихся в воде гуминовых кислот, железа, солей марганца снижает эффективность такой обработки. Также возможно использование ионизирующих излучений (например, гамма-излучения [3]), импульсного электрического разряда [4].

Поиск новых источников энергии усилил интерес к нестационарным явлениям в потоках быстротекущей жидкости, в частности к кавитации. Кавитация рассматривается как один из возможных способов достижения высокоэнергетических состояний, в которых создаются условия для молекулярной диссоциации и ионизации частиц. По способу возбуждения кавитации все процессы можно условно разделить на периодические воздействия (акустическая кавитация), однократное воздействие (гидродинамическая кавитация в потоке, трубки Вентури, лазерная кавитация, электрогидравлический механический (гидравлический) удар и пр.) и смешанное воздействие (гидродинамические сирены и свистки, роторные аппараты различной конструкции). Смешанные методы возбуждения кавитации – возбуждение пульсаций давления в потоке жидкости с использованием периодического изменения скорости потока жидкости, осуществляемого механическими устройствами различной конструкции. Благодаря простоте конструкции, большой мощности и производительности такие аппараты применяются во многих технологических процессах, связанных с массообменными процессами. Наибольшее распространение получили гидродинамические сирены, свистки, роторные гидродинамические аппараты (РГА) [5].

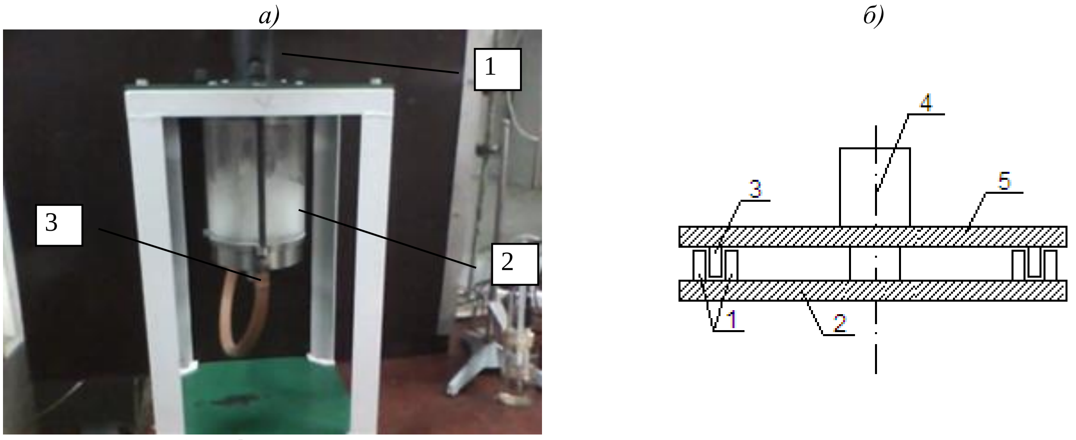
При высоких линейных скоростях движения жидкости происходит разрыв сплошности среды и образуются зоны с давлением значительно ниже атмосферного – кавитационные каверны, вовнутрь которых диффундирует растворенный в жидкости воздух. При схлопывании кавитационного пузырька в раствор переходят радикалы •Н, •ОН, ионы и электроны малой энергии, образовавшиеся в газовой фазе при расщеплении молекулы H_2O и веществ с высокой упругостью пара, продукты их взаимодействия и частичных комбинаций, а также метастабильные возбужденные молекулы H_2O [2].

Периодическое проскакивание подвижных кавитаторов относительно неподвижных усиливает динамичность кавитационных зон за кавитаторами, благодаря чему повышается интенсивность кавитационной обработки.

Целью данной работы являлось изучение влияния прямого кавитационного воздействия, инициируемого роторным гидродинамическим аппаратом, на процессы обеззараживания воды.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальная лабораторная установка представлена на рисунке 1. В качестве излучателя кавитации (поз.3, Рис. 1а) создающего высокий градиент скорости жидкости, использовали генератор гидродинамических колебаний роторного типа (Рис. 1б).



1 – электропривод Makita 9565CV; 2 –реакционная зона аппарата; 3 – генератор гидродинамических колебаний роторного типа.

Схема роторного генератора кавитации: 1 – неподвижные кавитаторы; 2 – неподвижное основание; 3 – активные кавитаторы; 4 – вал; 5- вращающийся диск.

Рисунок 1. *Лабораторная установка.*

Генератор гидродинамической кавитации состоит из подвижного вращающегося диска – активатора (5) и неподвижного основания (2). Вращающийся диск приводиться в движение валом (6) соединенным с валом электродвигателя. Вал опирается на опорный подшипник, установленный на неподвижном основании. В пространстве между диском и основанием установлены цилиндрические кавитаторы. Активные кавитаторы (3) прикреплены к верхнему вращающемуся диску. На нижнем основании установлены неподвижные кавитаторы (1).

Рабочие параметры установки: номинальная мощность электропривода Makita 9565CV 1,4 кВт; число оборотов ротора n_0 2800÷11000 обр./мин; количество активных кавитаторов - 8; количество неподвижных кавитаторов - 16; зазор между кавитаторами – 1,5 мм; объём циркулирующего раствора 0,8 – 1,0 л. Обработку можно осуществлять в периодическом и динамическом режимах, варьируя частоту вращения ротора и режимы течения жидкости. В установке предусмотрен отвод для термостатирования и отбора проб.

В данном устройстве используется явление возникновения пузырьковой кавитации в гидродинамическом следе за плохо обтекаемым телом, при этом парогазовые пузырьки образуются за счет создаваемых механических пульсаций локального давления. В отличие от других генераторов кавитации гидродинамического типа, он возбуждает кавитацию в объеме жидкости, а не на стенках устройства, что, в свою очередь, не приводит к эрозии поверхности устройства.

В качестве модельных тест-организмов были взяты клетки *Escherichia coli* (*E. coli*), вегетативные клетки и споры *Bacillus cereus (B. cereus). E. coli* выбран как индикаторный организм микробного загрязнения воды и как представитель группы кишечной палочки, к которой относятся возбудители острых кишечных заболеваний (энтеритов и энтероколитов). Выбор *B. cereus* обусловлен тем, что этот вид является оппортунистическим патогенном, вызывающим пищевые токсикоинфекции, а также близкородственным видом возбудителю сибирской язвы *B. anthracis*.

Исходная концентрация клеток и/или спор в воде составила ~ 2×10^4 колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 мл. Объем модельного раствора (дистиллированной воды) составил 400 мл. Для получения суточных культур клетки инкубировали в мясо-пептонном бульоне при аэробных условиях в шейкере-инкубаторе BIOSAN ES-20 (180 об/мин, 28^0 С) в течение 24 час. Для получения спор клетки выращивали в течение 7 суток в мясо-пептонном бульоне при температуре 2^0С – 5^0С. Для оценки эффективности инактивации клетки и/или споры контрольных (необработанных) и опытных (обработанных) образцов высевали на агаризованную среду и инкубировали при 37° С в течение 24 час для подсчета выживших КОЕ. Эффект оценивали путем сравнения числа КОЕ выживших клеток опытных и контрольных вариантов. Снимки клеток и спор до и после облучения проводили методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) с помощью микроскопа NanoEducator (ЗАО NT-MDT).

Эксперименты по кавитационной обработке были выполнены таким образом, чтобы исключить влияние термического воздействия на жидкую фазу и предотвращения спорообразования, путем подвода внешнего водяного охлаждения с использованием насоса УПЛ-0.6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что клетки *E. coli* являются более чувствительными к кавитационному воздействию, чем клетки *B. cereus*. Так, при обеззараживании воды, содержащей клетки *E. coli* при исходной численности 10^4 КОЕ/мл полное (100%) обеззараживание достигалось после 1 мин обработки. При обеззараживании воды, зараженной клетками *B. cereus* выявлено увеличение продолжительности кавитационной обработки для достижения 100%-ного эффекта обеззараживания по сравнению с *E. coli*. Так, полное обеззараживание воды с клетками *B. cereus* отмечалось после 50 мин обработки. Это объясняется различным строением клеточной мембраны. Как известно, *E. coli* (грамотрицательный вид) имеет тонкую клеточную мембрану, состоящую из пептидогликана и тройного липидсодержащего слоя. Клетки же *B. cereus* относятся к грамположительным микроорганизмам, характеризующимися наличием утолщенной клеточной мембраны, представленной многослойным **пептидогликаном** и тейхоевыми кислотами [6].

В случае со спорами *B. cereus* после 90 мин обработки отмечалось снижение численности на 84%. Как ожидалось, они более устойчивы, что обусловлено строением споры. Как известно, наружная оболочка споры состоит из полипептидов, под которой располагается кора (кортекс), состоящая из многослойного пептидогликанового остова (муреина – нерастворимого структурного компонента). Каркас споры отличается от каркаса стенок вегетативных клеток не только строением и составом, но и степенью сшивки [6]. В связи с этим, споры *B. cereus* являются более резистентными к кавитационному воздействию, чем клетки (Рис. 2).

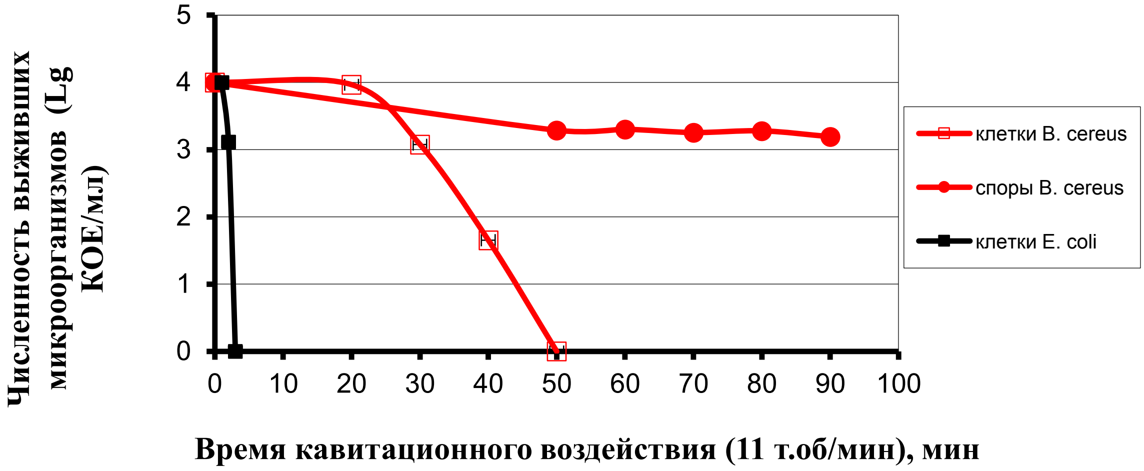


Рисунок 2*. Инактивация E. coli и. B. cereus.*

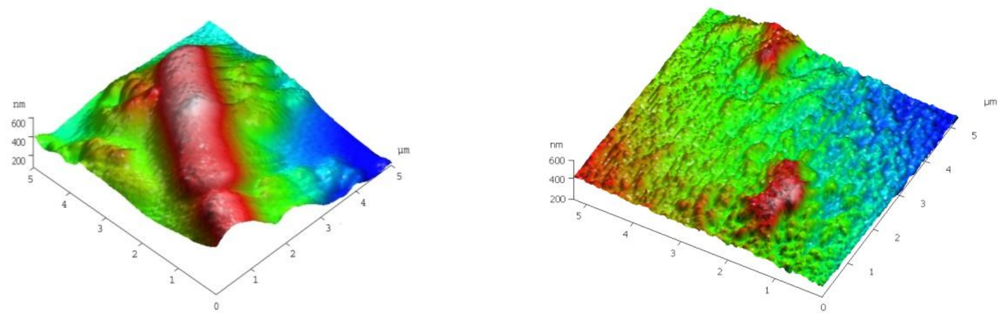
Известно, что образующиеся в результате кавитационной обработки •ОН радикалы инактивируют клетку по двум основным направлениям: 1 – окисление и разрушение клеточной стенки и мембраны с последующей дезинтеграцией клетки и 2 – их диффузия в клетку, приводящая к инактивации ферментов, повреждению органелл, нарушению синтеза белка и т.п. [7]. Образующиеся при схлопывании пузырьков во время кавитации •ОН радикалы повреждают, прежде всего, клеточную стенку вегетативных клеток *E. coli* и *B. cereus*: атакуют клеточную мембрану, что ведет к лизису клеточной стенки [8], происходит разрыв цитоплазматической мембраны, потеря структурной целостности клеточной стенки и утечка внутриклеточных компонентов – главные причины гибели клеток [9].

Согласно [10], возможно механическое разрушение простейших клеточных при сильных гидродинамических воздействиях. Конструктивная схема роторных аппаратов, как известно, содержит ротор и статор с каналами в их боковых стенках. Обрабатываемая среда проходит через периодически перекрываемые каналы и выводится из аппарата. В результате, в аппарате на среду оказывают воздействие различные факторы: турбулентные пульсации, механическое воздействие элементов конструкции, сдвиговые напряжения, возникающие в зазорах между ротором и статором, интенсивная акустическая импульсная и гидродинамическая кавитация, гидравлические удары и т.д. [11]. Другими словами, в устройствах такого типа осуществляется комплексное воздействие на обрабатываемую среду. Авторы работы [12] предположили следующий механизм обеззараживания при сильных гидродинамических воздействиях (дросселировании). В области высокого давления микроорганизмы, находящиеся в газожидкостной смеси насыщаются газами (за счет диффузии) до величины, соответствующей температуре и давлению среды. При понижении давления происходит резкое снижение предельной растворимости газов в среде, приводящее к образованию пузырьков газа как в жидкости, так и в клетках микроорганизмов, вызывая их гибель. Полагаем, что данные факторы обуславливают дезинфицирующий эффект при обработке в РГА.

Для визуализации морфологических изменений клеток были получены снимки методом АСМ. Полученные снимки свидетельствуют о повреждении внешних оболочек клеток и спор, наблюдалось уменьшение размеров и уплощение клеток и спор вследствие повреждения мембраны, приводящих к разрушению клеток и спор с последующим лизисом (Рис. 3, 4).

Клетки

а) *б)*



Споры

а) *б)*

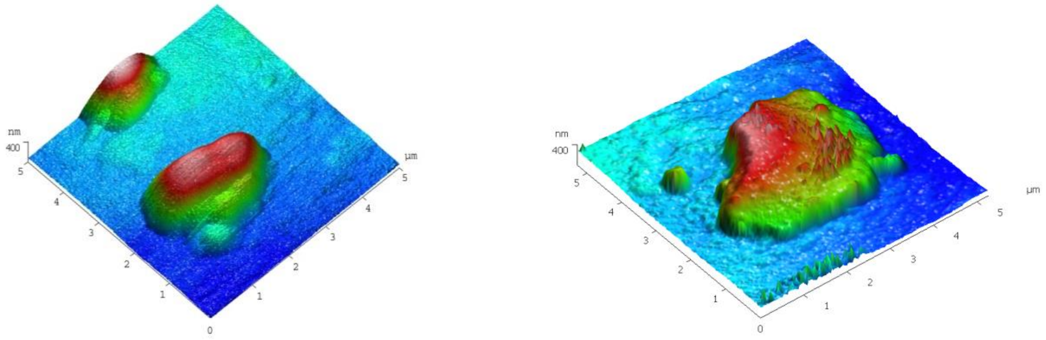


Рисунок 3. АСМ снимки клеток и спор B. cereus до (а) и после (б) кавитационного воздействия.

а) *б)*

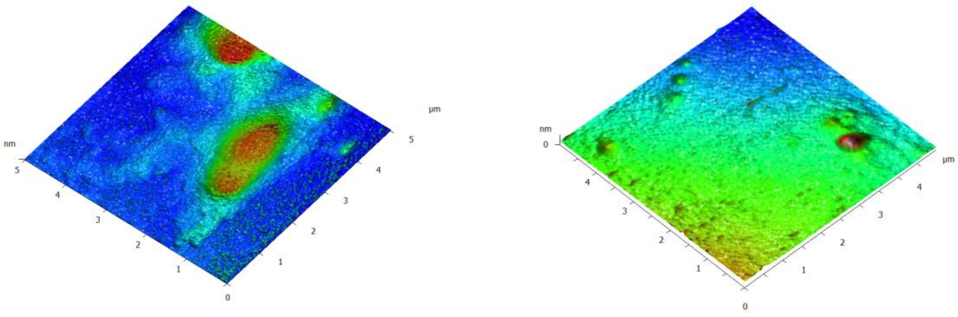


Рисунок 4. АСМ снимки E. coli до (а) и после (б) кавитационного воздействия.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что метод гидродинамической кавитации принципиально может быть использован для обеззараживания воды. Применение простых по конструкции РГА делает их привлекательными для использования в комбинированных процессах водоподготовки.

Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН (проект № 0339-2018-0005).

Список литературы:

1. Зарубин Г.П., Новиков Ю.В. Современные методы очистки и обеззараживания питьевой воды. М. : Медицина, 1976.

2. Промтов М. А., Алешин А. В., Колесникова М. М., Карпов Д. С. Обеззараживание сточных вод кавитационной обработкой // Вестник ТГТУ. – 2015. – Том 21. № 1. – С. 105 – 111.

3. Веселов Ю.С., Лавров И.С., Рукобратский Н.И. Водоочистное оборудование: конструирование и использование. Л. : Машиностроение, 1985. – 232 с.

4. Нагель Ю.А. и др. Электроимпульсное обеззараживание сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 1997. – №6. – С. 26-27.

5. Смородов Е.А. Физика и химия кавитации / Е.А. Смородов, Р.Н. Галиахметов, М.А. Ильгамов ; Ин-т механики УфимНЦ РАН. М. : Наука, 2008. – 226 с.

6. Шлегель Г. Общая микробиология: перевод с нем. М.: Мир, 1987. – 567с.

7. Mamane H., Shemer H., Linden K.G. Inactivation of *E. coli*, *B. subtilis* spores, and MS2, T4, and T7 phage using UV/H_2O_2 advanced oxidation // Journal of Hazardous Materials. – 2007. – № 146. – P. 479-486.

8. Wu Xiaoge, Joyce E.M., Mason T.J. Evaluation of the mechanisms of the effect of ultrasound on *Microcystis aeruginosa* at different ultrasonic frequencies // Water Research. – 2012. – № 46. – P. 2851 – 2858.

9. Koda S., Miyamoto M., Toma M., Matsuoka T., Maebayashi M. Inactivation of *Escherichia coli* and *Streptococcus mutans* by ultrasound at 500 kHz // Ultrasonics Sonochemistry . – 2009. – № 16. – P. 655–659.

10. Голдаев В.С. Обеззараживание жидких материалов высоковольтными разрядами // Электронная обработка материалов. – 1994. – №2. – С. 47–48.

11. Червяков В.М., Однолько В.Г. Использование гидродинамических и кавитационых явлений в роторных аппаратах: монография. М.: Машиностроение. 2008. – 116 с.

12. Голованчиков А.Б., Сиволобова Н.О., Новиков М.Г. Гидродинамический метод обеззараживания воды // Вестник Волг ГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. – 2009. – № 14(33). – С. 165-169.

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал
№ 11 (56)/ 2018
9 часть

Редакционная коллегия:

д.п.н., профессор Аркулин Т.В. (Москва, РФ)

Члены редакционной коллегии:

- Артафонов Вячеслав Борисович, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологического и природоресурсного права (Москва, РФ);
- Игнатьева Ирина Евгеньевна, кандидат экономических, преподаватель кафедры менеджмента (Москва, РФ);
- Кажемаев Александр Викторович, кандидат психологических, доцент кафедры финансового права (Саратов, РФ);
- Кортун Аркадий Владимирович, доктор педагогических, профессор кафедры теории государства и права (Нижний Новгород, РФ);
- Ровенская Елена Рафаиловна, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой судебных экспертиз, директор Института судебных экспертиз (Москва, Россия);
- Селиктарова Ксения Николаевна (Москва, Россия);
- Сорновская Наталья Александровна, доктор социологических наук, профессор кафедры социологии и политологии;
- Свистун Алексей Александрович, кандидат филологических наук, доцент, советник при ректорате (Москва, Россия);
- Тюменев Дмитрий Александрович, кандидат юридических наук (Киев, Украина)
- Варкумова Елена Евгеньевна, кандидат филологических, доцент кафедры филологии
- (Астана, Казахстан);
- Каверин Владимир Владимирович, научный сотрудник архитектурного факультета, доцент (Минск, Белоруссия)
- Чукмаев Александр Иванович, доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права (Астана, Казахстан)

Ответственный редактор
д.п.н., профессор Каркушин Дмитрий Петрович (Москва, Россия)

Художник**: Косыгин В.Т**
Верстка**: Зарубина К.Л.**
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:
г.Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия
E-mail: info@euroasia-science.ru ; www.euroasia-science.ru
Учредитель и издатель Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)

Тираж 1000 экз.
Отпечатано в типографии г.Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия