

Эксплуатация автомобильного транспорта

УДК 656

Программное обеспечение для расчетов режимов регулирования

Левашев А. Г., Тарасюк Ю. В.

Иркутский государственный технический университет
г. Иркутск, Россия

В мировой практике еще пятнадцать лет назад лишь ограниченное число инженеров-практиков могли использовать специальные программные средства при разработке проектов организации дорожного движения. Счастливым меньшинством были лишь крупные департаменты транспорта, ряд университетов и другие крупные компании, занимающиеся организацией дорожного движения [2]. Другим же оставалось использовать рекомендуемые в данной области методики или просто оплачивать проведение расчетов, связанных с разработкой проектов ОДД. Сейчас компьютерные технологии стали более доступными и инженеры-профессионалы почти всех точек мира используют их при проектировании.

Крупные компании-разработчики программных продуктов за последние десятилетия предоставили множество компьютерных программ, позволяющих автоматизировать процесс планирования транспорта на всех его этапах. Так, например, в США Федеральная Служба Управления Дорогами (FHWA) и Федеральная Служба Управления Общественным транспортом (FTA) учредили специальный центр, обеспечивающий механизм эффективного движения программных продуктов в области ОДД от разработчиков к пользователям. Специальный компьютерный транспортный центр (*McTrans*) насчитывает около 475 программных продуктов, используемых при решении проблем в следующих сферах транспорта: управление строительством; проектирование дорог, дорожного покрытия, мостов, водоснабжения и водоотведения; обслуживание транспортных конструкций; безопасность дорожного движения и учет дорожно-транспортных происшествий; геодезия; транспортная инженерия (организация дорожного движения); общественный транспорт; планирование, развития городского транспорта.

повторно-переменной во времени кратковременной нагрузкой, и учитывается постепенное снижение прочностных и деформационных характеристик бетона с течением времени.

В предлагаемом методе оценки грузоподъемности и долговечности эксплуатируемых мостовых сооружений определение фактических напряжений в элементах пролетного строения в любой момент времени t производится на основе деформационной расчетной модели для сечений с применением трансформированных диаграмм деформирования материалов при действии постоянных и многократно-повторной нагрузок.

В общем случае функции сопротивления $R(t)$ и усилия $S(t)$ для конструктивных элементов описывают случайные процессы. Работоспособность элементов характеризуется случайной функцией предельного состояния

$$Z(t) = R(t) - S(t), \quad (1)$$

где значения сопротивлений и усилий в условиях эксплуатации по мере накопления повреждений изменяются во времени.

Доверительная вероятность безотказной работы в сечении случайного процесса при оценке работоспособности элементов при нормальном законе распределения случайной величины Z определяется по простой формуле

$$P\{Z > 0\} = \Phi(\beta_z), \quad (2)$$

где β_z – относительное отклонение величины Z .

Во всех вероятностных расчетах требуется знать в явном или скрытом виде минимально допускаемое нормативное значение показателя надежности конструкций. Для мостовых конструкций повышаются требования к обеспечению безопасности, эксплуатационной пригодности и долговечности конструкций, так как возникновение предельного состояния может стать причиной не только экономического, но и социального ущерба. Если оценивается безопасность конструкции, то отклонение β_z обычно называется характеристикой безопасности или гауссовским показателем надежности элементов и принимается равным в диапазоне от 3 до 4. При расчете долговечности бетонных и железобетонных слоев конструкции проезжей части β_z рекомендовано принять равным 1,64.

1. Модуль деформации покрытия зависит от многих факторов: температуры, скорости приложения нагрузки, знака напряжений.

2. Распределение напряжений в материале покрытия имеет нелинейный характер вследствие криволинейной диаграммы «напряжение–деформация».

3. Напряженно-деформированное состояние плиты проезжей части зависит от сцепления покрытия с защитным слоем, а также от совместной работы и других слоев конструкции проезжей части.

Напряженно-деформированное состояние покрытия в эксплуатационной стадии работы зависит от свойств слоя сцепления покрытия с плитой проезжей части. В некоторых покрытиях связующий слой отсутствует и связь покрытия с плитой можно условно считать «абсолютной». Там, где слой сцепления играет роль гидроизоляции, работа покрытия подчинена свойствам этого слоя.

Если этот слой эластичный, например, битумно-мастичный, то связь покрытия с плитой при высоких температурах может нарушаться, и в этом случае покрытие и плита работают независимо. Учет температуры покрытия и роль связующего слоя являются определяющими для оценки усталостной прочности плиты покрытия проезжей части.

Для оценки работы отдельных слоев гидрозащиты для исследования было выбрано экспериментальное бездиафрагменное пролетное строение моста через Западный Буг и проведен математический эксперимент.

Число параметров для общих данных выбрано с таким расчетом, чтобы максимально характеризовать размеры и весовые параметры мостового полотна. Возможности расчетной системы позволяют задать параметры конструкции практически любого мостового полотна автодорожных мостов.

В работе выделены две группы расчетов долговечности транспортных сооружений: первая, связанная с силовыми воздействиями и возникающими с ними повреждениями, и вторая, связанная с воздействиями окружающей среды.

В качестве основной модели расчета грузоподъемности и долговечности при силовых воздействиях предложена модель, когда усилия вызываются не только постоянной нагрузкой, но и

К сожалению в учебном плане 2005 года отсутствует ряд курсовых работ и дисциплина «Проектирование мостовых переходов», что не улучшит подготовку будущих инженеров - строителей дорог.

УДК 624.2/8

Оценка долговечности железобетонной плиты проезжей части мостового сооружения

Пастушков В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Предлагаемая методика определения напряжений с учетом диаграмм деформирования материалов ориентирована на расчет многослойной конструкции проезжей части. Она может быть использована как для проектирования, так и для проверки мостовых конструкций в условиях эксплуатации с учетом состояния, срока службы и наличия дефектов и повреждений на эксплуатационные характеристики пролетных строений.

Многослойная конструкция проезжей части состоит из различных материалов с соответствующими диаграммами деформирования.

Как показывают многочисленные испытания мостовых сооружений в стадии эксплуатации, слои мостового полотна активно участвуют в работе пролетного строения при действии временных транспортных нагрузок.

Поэтому при оценке и прогнозировании долговечности плиты проезжей части мостового сооружения необходимо определять напряженное состояние слоев гидрозащиты, работающей совместно с плитой проезжей части.

Особо важное значение приобретает установление работы слоев конструкции проезжей части в эксплуатационной стадии.

Для проезжей части мостов наиболее часто применяются асфальтобетонные покрытия. Асфальтобетонное покрытие находится во взаимодействии с изгибаемой плитой проезжей части, однако точно установить напряженно-деформированное состояние асфальтобетонного покрытия достаточно сложно в связи со следующими обстоятельствами:

Для освоения мостовых дисциплин студенты должны иметь хорошую подготовку по следующим общетехническим и специальным курсам: сопротивление материалов, строительная механика, дорожно-строительные материалы, дорожное грунтоведение, инженерная геодезия, гидравлика, строительные конструкции, информатика, дорожно-строительные машины.

Изучение прогрессивных конструкций и промышленных способов строительства транспортных сооружений позволит студентам активно участвовать в ускорении научно-технического прогресса в мостостроении.

В таблице 1 произведен анализ учебной нагрузки по мостовым дисциплинам в учебных планах для студентов специальности Т 19.03.00 «Строительство дорог и транспортных объектов» специализации Т 19.03.01.01 «Строительство автомобильных дорог и аэродромов» по учебному плану 2001г. и специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» специализации 1-70 03 01 01 «Строительство дорог и аэродромов» по учебному плану 2005 г.

Таблица 1. Учебная нагрузка

Дисциплина	Уч. план	Сем	Всего	Сам. раб.	Ауд.	Лекц	Пр.	Лаб.	Курс. Пр.
Проектирование мостовых переходов (специальная)	2000г.	7	55	7	48	32	16	-	К.р.
	2005г.	-	-	-	-	-	-	-	-
Фундаменты транспортных сооружений (специальная)	2000г.	7	55	7	48	32	16	-	К.р.
	2005г.	7	75	27	48	32	16	-	-
Транспортные сооружения на дорогах (специализации) (специальная)	2000г.	7,8	140	34	106	76	14	16	К.п. - 8с.
		7			44	28	-	16	
		8			62	48	14	-	
	2005г.	7,8	220	92	128	96	16	16	К.п.
		7			48	32	-	16	
		8			80	64	16	-	8сем.
Содержание и ремонт транспортных сооружений (специальная) (специализации)	2000г.	8	55	13	42	28	14	-	К.р.
	2005г.	9	75	27	48	32	16	-	-

Анализ данных результатов исследования подтверждает теоретические предпосылки создания прочного бетона. Введение в бетонную смесь высокодисперсного кремнезема МК-85 и суперпластификатора СП-07/1 обеспечило существенное улучшение пластических свойств ее, а также увеличение на 76, 7% прочность на сжатие.

УДК 624.21.012.35: 378.244

Методологические аспекты преподавания мостовых дисциплин у студентов дорожников

Расинская Л. Г.

Белорусский национальный технический университет

Транспортные сооружения являются неотъемлемой частью дорог. Проектирование и строительство мостов и других сооружений тесно связано с проектированием и строительством дорог.

Поэтому, инженеру-строителю, в целом приходится всегда решать комплексную задачу, требующую углубленного знания как курса дорог, так и курса транспортных сооружений.

Основная цель преподавания мостовых дисциплин состоит в формировании у студентов знаний и навыков, необходимых для проектирования и строительства транспортных сооружений в объеме, предусмотренном требованиями квалифицированных характеристик специалистов с высшим образованием специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги».

Задачи изучения мостовых дисциплин состоят в освоении студентами комплекса знаний, отражающих современное состояние мостостроения и строительства транспортных сооружений на дорогах и перспективы развития данных отраслей.

Студенты должны знать виды транспортных сооружений, эксплуатируемых на дорогах, их конструкцию, способы проектирования и расчета, а также способы строительства.

Опираясь на полученные знания, студенты должны получить навыки в самостоятельном решении конкретных инженерных задач в области проектирования и строительства транспортных сооружений.

твердения цементных структур с частицами наполнителя, служащими центрами кристаллизации;

-образованием в бетоне кластеров "вяжущее-наполнитель" за счет высокой поверхностной энергии частиц наполнителя и упорочнением контактной зоны между цементным камнем и заполнителями.

Для экспериментальных исследований использованы: Красносельский портландцемент ПЦ 500-ДО с активностью 52,4 МПа, песок с модулем крупности $M_{кр}$ равным 2,31, удовлетворяющим требованиям ГОСТ 8736, щебень ГП «Гранит» с максимальной крупностью зерен равной 20 мм, плотностью 2695 кг/м³, содержанием пластинчатых и игольчатых зерен 17,6%, марка щебня 1200, соответствует ГОСТ 8267; микрокремнезем марки МК-85 (ТУ5743-048-02495332) с истинной плотностью 2.2345 г/см³, удельной поверхностью 21,86 м²/г, а также суперпластификатор СП 07/1.

Нами изучено влияния микрокремнезема и суперпластификатора СП-07/1 на пластические свойства бетонных смесей и прочность на сжатие образцов бетона. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние микрокремнезема и суперпластификатора СП-07/1 на прочность бетона

Расход микрокремнезема на 1 м ³ , кг	Расход компонентов на 1 м ³ , кг						ОК, см	Прочность на сжатие, Рсж, МПа
	Ц	В	П	Щ	Д (% от Ц)	В/Ц		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	450	202	635	1150	-	0,45	4	442
8	450	112	635	1150	0,3	0,25	7	527
12	450	112	635	1150	0,3	0,25	12	623
15	450	112	635	1150	0,3	0,25	14	637
8	450	112	635	1150	0,6	0,25	8	654
12	450	112	635	1150	0,6	0,25	17	765
15	450	112	635	1150	0,6	0,25	19	781

УДК 691(075.8)

Теоретические аспекты и экспериментальные исследования влияния высокодисперсных минеральных наполнителей на прочность бетона

Ляхевич Г. Д., Звонник С. А.

Белорусский национальный технический университет

Теоретическими предпосылками создания прочного и долговечного бетона является более полное использование энергии гидравлического вяжущего, создание оптимальной микроструктуры цементного камня, уменьшение пористости, повышение трещиностойкости, упрочнение контактных зон цементного камня.

Бетоны, получаемые из высокоподвижных смесей с ограниченным водосодержанием, имеют прочность на сжатие в возрасте двух суток 30-50 МПа, в возрасте 28 суток 60-150 МПа, морозостойкость больше F 600, водонепроницаемость больше W 12. Прогнозируемый срок службы такого бетона превышает 200 лет, а есть предпосылки получить бетон со сроком службы до 500 лет.

Известны композиты сверх уплотненной структуры, содержащие специальные цементы, гомогенно распределенные высокодисперсные частицы, суперпластификаторы и микроволокна, которые при В/Ц отношении равном 0,12-0,22 позволяют достичь прочности 270 МПа.

Можно прогнозировать, что в ближайшем будущем будет происходить постепенное замещение обычных традиционных бетонов многокомпонентными бетонами, содержащими высокодисперсные минеральные наполнители, например, микрокремнезем, наноматериалы. Влияние их на структуру и физико-механические характеристики цементных композиций можно объяснить:

-снижением водопотребности бетонных смесей и как результат, уменьшение общей пористости цементного камня с меньшими размерами капиллярных пор;

-связыванием гидроксида кальция кристаллогидратной структуры аморфизованным кремнеземом и повышением пуццолановой активности наполнителя при его тонком измельчении, что обеспечивает ускорению начальной стадии химического

Из данных таблицы видно, что при использовании составов 2 - 8 в предлагаемой бетонной смеси водонепроницаемость составляет 1,25 – 2,40 МПа, морозостойкость 85 – 145 циклов, прочность на сжатие 30,6 – 46,9 МПа.

Предлагаемая бетонная смесь не требует сложного оборудования и может быть использована на большом количестве предприятий по производству железобетонных конструкций и бетонных смесей. Данную бетонную смесь можно укладывать на основную конструкцию в качестве гидроизоляционного слоя и использовать в качестве отдельного конструктивного элемента.

Таблица 1. Составы бетонной смеси и физико-механические свойства бетона

Состав № п/п	Расход в масс. %					Прочность на сжатие, МПа	Водонепроницаемость W, МПа
	Цемент ПЦ-500	Песок	Щебень	Вода	Добавка		
1	21	18	49	11	1	43,9	0,40
2	21	17	49	11	2	46,3	1,25
3	21	14	49	11	5	46,7	1,35
4	21	12	49	11	7	46,9	2,05
5	21	11	49	11	8	42,6	2,15
6	21	10	49	11	9	31,9	2,40
7	25	11	45	10	9	33,4	2,30
8	19	11	53	14	3	30,6	1,25

На основе выполненных исследований получены бетоны с повышенной водонепроницаемостью.

Использование бентонитовой глины, модифицированной ароматизированной углеводородной фракцией в бетонной смеси обеспечит экономию средств, связанных с ремонтом гидроизоляционных покрытий искусственных сооружений и увеличит срок службы конструкций.

Целью исследования является изучение влияния высокодисперсной добавки отработанной глины масляного производства (ОГМП), на свойства цементного теста и прочность цементного камня.

В процессе исследования решены следующие задачи:

- изучено влияние ОГМП на свойства цементного теста и цементного камня.

Для решения данной задачи в бетонную смесь, содержащую цемент, песок, щебень, добавку и воду в качестве добавки вводили бентонитовую глину, модифицированную ароматизированной углеводородной фракцией, при следующем соотношении компонентов, масс. %: цемент 19 – 25; щебень 45 – 53; песок 11 – 17; бентонитовая глина, модифицированная ароматизированной углеводородной фракцией 2 – 8; вода – остальное.

Введение компонентов в рекомендованном соотношении повышает плотность и водонепроницаемость бетонной смеси и снижает водопоглощение.

Для приготовления бетонной смеси использовали портландцемент (без минеральных добавок) марки 500 ГОСТ 10178-85, щебень фракции 5 – 20 мм ГОСТ 8267-93, песок для строительных работ ГОСТ 8736-93, воду по ГОСТ 23732-79 и добавку. В качестве добавки использована бентонитовая глина, модифицированная ароматизированной углеводородной фракцией. Состав добавки масс. %: бентонитовая глина 90 % и углеводородная фракция 10%. Бетонную смесь готовили следующим образом. Портландцемент смешивали с бентонитовой глиной модифицированной ароматизированной углеводородной фракцией, мелким и крупным заполнителем и добавляли воду. Полученную бетонную смесь перемешивали до получения однородной смеси. Затем смесью заполняли формы 15*15*15 см с вибрированием на вибростоле. Образцы хранили во влажных условия в течение 28 суток.

Водонепроницаемость образцов определяли по ГОСТ 12730.5-84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости на приборе Агама-2Р. Прочность определяли по ГОСТ 10180-90 на гидравлическом прессе.

Составы бетонной смеси и их физико-механические свойства бетона приведены в таблице 1.

Результаты исследования влияния изотермического нагревания в толстом и тонком слое на долговечность полученных нами композитных вяжущих представлены на графиках (рис. 1-4).

Анализ результатов показал:

- увеличение продолжительности изотермического нагревания в толстом и тонком слоях композитных вяжущих ведет к повышению температурного перехода из вязкопластического в жидкое состояние и повышению их вязкости (снижение глубины проникания иглы при 25°C);
- сравнивая параметры термической стабильности различных композитных вяжущих, подвергнутых изотермическому нагреву, в толстом и тонком слоях, необходимо отметить общую для них закономерность: старение композитных вяжущих в толстом слое значительно меньше, чем в тонком слое.

УДК 691(075.8)

Создание бетона повышенной водонепроницаемости с использованием модифицированных глинистых минералов

Ляхевич Г. Д., Гречухин В. А.

Белорусский национальный технический университет

Цементный камень, является капиллярно-пористой гидрофильной системой. При соприкосновении с водой, являющейся агрессивной средой, он впитывает ее, а это отрицательно влияет на цементный камень и арматуру железобетонных конструкций.

Одним из путей улучшения характеристик цементного камня является управление процессами его структурообразования путем введения различных добавок в состав бетонной смеси.

Ранее, для повышения водонепроницаемости и водоотталкивающих свойств бетона применялись добавки, придающие стенкам пор и капилляров гидрофобные свойства.

На основании вышеизложенного нами проведены исследования влияния гидрофобизирующей добавки – глинистых минералов модифицированных маслом, а в частном случае отработанной глины масляного производства нефтеперерабатывающих заводов (ОГМП) на бетонную смесь и свойства цементного камня.

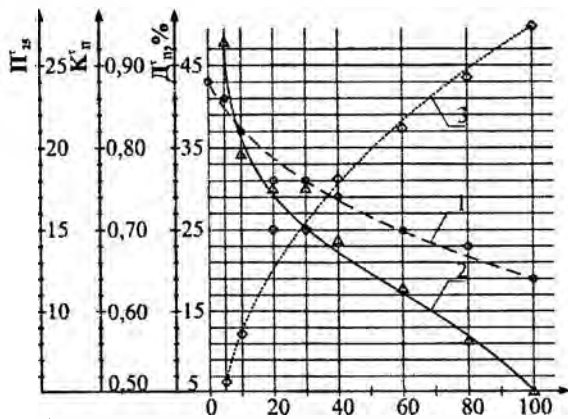


Рис.3. Влияние изотермического нагревания на вязкость композитного материала в тонком слое

1 - вязкость композитного вяжущего при изотермическом нагревании за время τ (Π^{τ}_{25}); 2 - коэффициент вязкости композитного вяжущего при изотермическом нагревании за время τ (K^{τ}_n); 3 - динамика изменения температурного перехода композитного вяжущего из вязко-пластичного состояния в жидкое при изотермическом нагревании за время τ ($D^{\tau}_{п}$, %), где $\tau=0...100$, часов

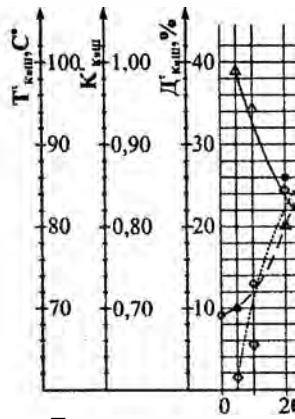


Рис. 4. Влияние изотермического композитного вяжущего из вязко-пластичного состояния в текучее

1 - температура размягчения по кольцу и шару композитного вяжущего при изотермическом нагревании за время τ ($T^{\tau}_{кнш}$, °C); 2 - коэффициент текучести композитного вяжущего при изотермическом нагревании за время τ ($K^{\tau}_{кнш}$); 3 - динамика температурного перехода композитного вяжущего из вязко-пластичного состояния в жидкое при изотермическом нагревании за время τ ($D^{\tau}_{кнш}$, %)

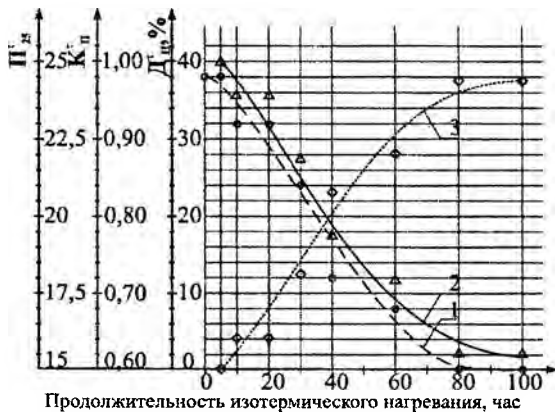


Рис. 1. Влияние изотермического нагревания на вязкость композитного материала в толстом слое

1 - вязкость композитного вяжущего при изотермическом нагревании за время τ ($\Pi_{Д}^{\tau}$); 2 - коэффициент вязкости композитного вяжущего при изотермическом нагревании за время τ ($K_{П}^{\tau}$); 3 - динамика изменения температурного перехода композитного вяжущего из вязко-пластичного состояния в жидкое при изотермическом нагревании за время τ ($D_{В}^{\tau}$, %), где $\tau=0...100$, часов

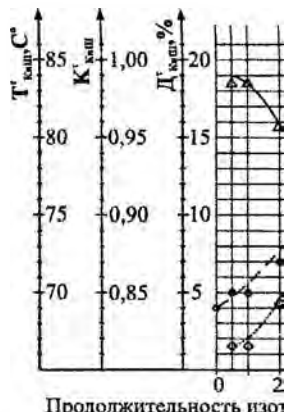


Рис. 2. Влияние изотермического нагревания на температуру размягчения композитного вяжущего из вязко-пластичного состояния в то...

1 - температура размягчения композитного вяжущего при изотермическом нагревании за время τ ($T_{КвП}^{\tau}$, °C); 2 - коэффициент вязкости композитного вяжущего при изотермическом нагревании за время τ ($K_{П}^{\tau}$); 3 - динамика изменения температурного перехода композитного вяжущего из вязко-пластичного состояния в жидкое при изотермическом нагревании за время τ ($D_{В}^{\tau}$, %), где $\tau=0...100$, часов

- температура перехода их из вязкопластического в жидкое состояние, которая оценивалась температурой размягчения по КиШ, °С;
 - вязкость (глубина проникания иглы при 25°С, 0,1 мм);
- а также показатели, характеризующие долговечность исследованных материалов, а именно:
- коэффициент температурного перехода из вязкопластического в жидкое состояние за время τ в часах ($K_{\text{КиШ}}^{\tau}$);
 - коэффициент вязкости (пенетрация при 25°С, 0,1 мм) за время τ , в часах ($K_{\text{П}}^{\tau}$);
 - динамика изменения температуры размягчения по КиШ в % за время τ ($D_{\text{КиШ}}^{\tau}$);
- Динамика изменения глубины проникания иглы (пенетрация) в % за время τ ($D_{\text{П}}^{\tau}$).

Коэффициент $K_{\text{КиШ}}^{\tau}$ определялся из выражения:

$$K_{\text{КиШ}}^{\tau} = T_{\text{КиШ}} / T_{\text{КиШ}}^{\tau}$$

Здесь $T_{\text{КиШ}}$ – температура размягчения по КиШ в °С композитного вяжущего или их компонентов до изотермического нагрева, т.е. τ равно нулю; $T_{\text{КиШ}}^{\tau}$ – температура размягчения по КиШ в °С композитного вяжущего или их компонентов после изотермического нагрева за время τ в часах.

Коэффициент $K_{\text{П}}^{\tau}$ определялся из выражения:

$$K_{\text{П}}^{\tau} = \Pi / \Pi^{\tau}$$

здесь: Π – глубина проникания иглы при 25°С, 0,1 мм композитных вяжущих или их компонентов до изотермического нагрева, т.е. τ равно нулю; Π^{τ} – глубина проникания иглы при 25°С, 0,1 мм композитных вяжущих или их компонентов после изотермического нагрева за время τ в часах.

Динамику изменения температуры размягчения по КиШ за время τ ($D_{\text{КиШ}}^{\tau}$) определяли из выражения:

$$D_{\text{КиШ}}^{\tau} = (T_{\text{КиШ}}^{\tau} - T_{\text{КиШ}}) / T_{\text{КиШ}} \times 100\%$$

Динамику изменения глубины проникания иглы при 25°С, 0,1 мм композитных вяжущих или их компонентов после изотермического нагрева за время τ в часах ($D_{\text{П}}^{\tau}$, %):

$$D_{\text{П}}^{\tau} = (\Pi - \Pi_{\text{П}}) / \Pi_{\text{П}} \times 100\%$$

Транспортные сооружения

УДК 699.82

Определение долговечности гидроизоляционных материалов для мостов и тоннелей

Ляхевич Г. Д., Максименко А. Л.

Белорусский национальный технический университет

Гидроизоляция мостов преимущественно выполняется из битумных, битумно-полимерных материалов в тонком слое (например, грунтовка бетонной поверхности железобетонных конструкций), а также в толстом слое (нанесение на огрунтованную поверхность рулонного гидроизоляционного материала).

Длительная, свыше 8 лет, эксплуатация гидроизоляции протекает преимущественно в температурном интервале $-12...+60^{\circ}\text{C}$. Старение битумных, битумно-полимерных материалов за такое длительное время весьма существенна. В этой связи исследования и разработка композитного вяжущего, которое обладало бы более высокой термоокислительной стабильностью, представляет научный и практический интерес.

Устойчивость вяжущих к старению оценивается по термической стабильности при 163°C . Это позволяет с достаточной степенью вероятности воспроизвести технологические условия переделов, эксплуатацию битумно-полимерных материалов. В ГОСТ 18180-72 и СТБ 1062-97 регламентируется изменение пенетрации после прогрева битума в слое толщиной 4 мм в течение 5 часов при 163°C . Более жесткие условия испытаний предусматривает стандарт США ASTM D 2872-85, в котором предусматривается контактирование с воздухом битума толщиной 0,15 мм. Поэтому в настоящей работе изотермическое нагревание композитных вяжущих и их компонентов проводилось при толщине 4 мм (толстый слой) и 0,15 мм (тонкий слой).

Для исследований в толстом и тонком слое использовались образцы композитных вяжущих на основе нефтяного битума, суспензии наполнителя и оксидата отработанных минеральных масел.

Были определены основные показатели качества вяжущих материалов и их компонентов:

Аргументация этих постулатов и их практические доказательства изложены в научных трудах проф. А.П. Васильева. Важнейшие из них приведены в нижеследующем списке литературы.

Литература

1. Васильев, А. П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях / А. П. Васильев. – М.: Транспорт, 1976. – 224 с.
2. Васильев, А. П. Управление движением на автомобильных дорогах / А. П. Васильев, Н. И. Фримштейн. – М.: Транспорт, 1979. – 296 с.
3. Васильев, А. П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения / А. П. Васильев. – М.: Транспорт, 1986. – 248 с.
4. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера дорожника / Под ред. А. П. Васильева. – М.: Транспорт, 1989.
5. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / А. П. Васильев, В. М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1990.
6. Ремонт автомобильных дорог / А. П. Васильев, Ю. М. Яковлев, М. С. Коганзон [и др.]. – М., 1998. – 125 с.
7. Васильев, А.П. Поверхностная обработка с синхронным распределением материалов. Опыт дорожников Франции /А.П. Васильев, П. Шамбар. – М.: ООО «Трансдорнаука», 1999. – 80 с.
8. Васильев, А. П. Пути совершенствования норм проектирования автомобильных дорог / А. П. Васильев // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог: Задачи и решения. – М., 2001. – С. 4–19.
9. Васильев, А. П. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог / А. П. Васильев. – (ОДН 218.0.006-2002).
10. Васильев, А. П. Расчет общей глубины колеи на жестких дорожных одеждах / А. П. Васильев, С. В. Лугов // тезисы Всеросс. отрасл. науч.-практ. конф. «Пути решения современных проблем по диагностике, паспортизации автомобильных дорог и искусственных сооружений на основе создания и использования автоматизированных банков данных», Саратов, 24-26 ноября 2003 г. / ФГУП СНИИ Росдортех, 2003. – С. 17–18, 20–23.
11. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). / А. П. Васильев [и др.]; под ред. А. П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2005. – Т. I. – 646 с.
12. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД)/ А. П. Васильев [и др.]; под ред. А. П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2004. – Т. II. – 507 с.
13. Дорожная наука: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД) / А. П. Васильев [и др.]; под ред. А. А. Надежко. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2006. – Т. IV. – 393 с.

Разработанная профессором А.П. Васильевым система оценки эксплуатационного состояния дорожных конструкций получила распространение в России, Беларуси, Казахстане и других государствах. Научная общественность и практические работники дорожной отрасли многих стран знают Александра Петровича как талантливого педагога и крупного ученого. Под его руководством создана общепризнанная в нашей стране и за рубежом научная школа в области эксплуатации дорог. Им опубликовано более 300 научных работ, около 30 монографий и учебников, включая несколько томов Справочной энциклопедии дорожника. Под его руководством подготовлено и защищено около 30 кандидатских и 5 докторских диссертаций.

Профессор А.П. Васильев успешно развивает международные связи, выступая с докладами на международных конгрессах и форумах дорожников. В течение многих лет преподавал в Щецинском политехническом институте (Польша), где избран профессором, читал лекции и руководил подготовкой докторов и кандидатов наук. Одна из докторских диссертаций, выполненная польским специалистом, защищена в МАДИ в 2005 году.

Много времени и сил отдает профессор А.П. Васильев общественно-научной деятельности, являясь членом научных, технических и диссертационных советов. С момента создания Российской академии транспорта избран ее действительным членом и является руководителем секции «Автомобильные дороги аэродромы». За плодотворную научную деятельность и безупречную работу награжден рядом правительственных наград СССР и Российской Федерации.

При изучении проблем диагностики автомобильных дорог и проводя исследования в этом направлении необходимо в первую очередь обращать внимание на теоретические постулаты профессора А.П. Васильева. В краткой форме они могут быть сформулированы следующим образом: 1) максимальный учет совокупности внешних погодно-климатических и транспортных воздействий на дорогу при решении вопросов ее диагностирования, содержания и ремонта; 2) комплексность в оценке состояния дорожной конструкции; 3) тщательность методологической аргументации при проведении экспериментальных работ; 4) всесторонняя взаимоувязка теории и эксперимента при формулировании основополагающих выводов.

на соискание ученой степени кандидата технических наук. После обучения в очной аспирантуре вернулся в г. Саратов и работал деканом дорожно-строительного факультета Саратовского автомобильно-дорожного института. Некоторое время был начальником отдела НИИ МВД СССР. В период 1969–1984 гг. работал в ГосдорНИИ в должности заместителя директора по научной работе.

Профессор А.П. Васильев является известным учебным в области дорожного строительства и эксплуатации дорог. Его исследования относятся к проблемам диагностики и управления качеством автомобильных дорог, отличаются фундаментальностью и глубиной научной аргументации. Среди множества опубликованных работ - монографии и учебники по теории эксплуатации, организации и безопасности дорожного движения.

Так, в 1989г. под редакцией А.П.Васильева вышел справочник инженера-дорожника [4], в котором дана классификация деформаций и разрушений земляного полотна, дорожных одежд и покрытия; сформулированы предложения по оценке транспортно-эксплуатационных качеств дорог; подробно рассмотрены методы определения прочности, ровности, шероховатости и сцепных качеств. Здесь впервые была обоснована система комплексной оценки состояния дорог. В качестве критерия был преодолен коэффициент обеспеченности расчетной скорости.

В 1990 вышел учебник «Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения» [5].

В этой книге более детально рассмотрены деформации и разрушения автомобильных дорог, характеристики поверхности покрытия транспортно-эксплуатационные показатели их зависимость от состояния автомобильных дорог.

В отраслевых дорожных нормах [8, 9] определены требования к методике оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, сформулированы важнейшие положения организации диагностирования дорог и планирования дорожно-ремонтных мероприятий с разработкой комплексных производственных программ. Несомненный интерес для оценки состояния дорог и повышения транспортно-эксплуатационных качеств представляют работы проф. А.П. Васильева в области колееобразования [6, 10], поверхностных обработок [7, 11], организации и безопасности движения [1, 2] и др.

жизненного эксплуатационного цикла дорог дорожным организациям приходится постоянно проводить работы по их содержанию и содержанию всех относящихся к ним сооружений, своевременно выполнять работы по текущему, среднему и капитальному ремонтам, а при необходимости осуществлять реконструкцию дорог. Роль диагностики при этом имеет первостепенное значение. Теория и практика диагностирования дорог всегда привлекала внимание ученых и ИТР дорожной отрасли. Известны работы профессоров Н.Н. Иванова, А.К. Бирули, В.Ф. Бабкова, Ю.М. Яковлева, В.М. Сиденко, В.А. Семенова, Д.А. Павлюка, кандидатов наук С.С. Кизимы, И.В. Нестеровича и многих других ученых, в трудах которых заложены основы оценки качества дорог, дано обоснование критериев качества, предложены приборы и методики для их экспериментального определения. Очевидно, что на различных стадиях развития дорожной науки, фундаментализации теоретической базы, описания процессов, протекающих под влиянием погодноклиматических факторов в земляном полотне и в контакте транспортных нагрузок и дорожного покрытия, диагностика имела свои особенности, и это находило отражение в нормативных документах, в учебной и методической литературе.

В настоящей статье нам представляется необходимым акцентировать внимание на вкладе в дорожную диагностику профессора Александра Петровича Васильева, с которым у нас сложились и постоянно развиваются творческие связи при решении дидактических и научных проблем, стоящих и перед коллективом наших одноименных кафедрах «Строительство и эксплуатация дорог» МАДИ (ГТУ) и БИТУ.

А.П. Васильев родился 17 февраля 1932 года в Саратовской области, доктор технических наук (1979), профессор (1980), Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1982). С 1984 г. работает на кафедре «Строительство и эксплуатация дорог» МАДИ (ГТУ), и с 1986 г. является ее бессменным руководителем. Ранее, после окончания Саратовского автомобильно-дорожного института (1956), работал на объектах дорожного строительства Казахстана, где прошел путь от мастера до начальника производственного отдела крупной дорожно-строительной организации. В 1960 г. поступил и в 1964 г. успешно закончил аспирантуру в МАДИ с защитой диссертации

одеждами / М. Б. Корсунский. – М., 1966.

4. Чихладзе, Э.Д. Расчет напряжений и деформаций в двухслойных плитах / Э. Д. Чихладзе, А. Г. Кислов // Автомобильные дороги и мосты. – Мн.: РУП «Белдорцентр», 2007. – № 1. – С. 31–34.

5. Указания по оценке эффективности дорожно-ремонтных работ / ВСН 2-80. – Минавтодор РСФСР. М., 1981. – 32 с.

6. Русин, Р.М. Стендовые испытания дорожных конструкций и материалов / Р. М. Русин // Автомобильные дороги и мосты. – Мн.: РУП «Белдорцентр», 2007. – № 1. – С. 76-78.

УДК 625.76

**Вопросы диагностики автомобильных дорог
в трудах профессора А. П. Васильева**

Леонович И. И.

Белорусский национальный технический университет

Автомобильные дороги имеют относительно небольшую историю своего развития. Проблемы их проектирования и строительства возникли около 100 лет тому назад с появлением автомобилей, а интенсивная автомобилизация постоянно инициирует необходимость совершенствования конструкций дорог, расширения дорожной сети и повышения коммуникативных возможностей транспортных магистралей.

Проблемами дорог занимались и занимаются многие научные коллективы в различных государствах, огромная армия проектировщиков, строителей и эксплуатационников. Все большее значение придается интеграционным процессам в системе транспортных комплексов межгосударственного и внутригосударственного значения. Автомобильный транспорт в системе транспортного комплекса играет важнейшую связующую роль, как на коротких, так и значительных расстояниях.

Успешная работа автомобильного транспорта всецело зависит от состояния автомобильных дорог, их соответствия интенсивности и состава транспортных потоков, допустимых скоростей движения автомобилей. Качество автомобильных дорог включает ряд составляющих и охватывает значительный временной интервал - от проектирования и строительства до эксплуатации, которая продолжается «бесконечно». На протяжении

автомобильных дорог.

3. Уровень теоретического обоснования критериев и системы проведения диагностики автомобильных дорог достаточно высокий, но его не следует считать предельно возможным.

4. Дальнейшее развитие теории диагностики автомобильных дорог целесообразно проводить по направлениям:

- создание надежных методов расчета дорожных одежд в условиях интенсивного развития автомобильного транспорта большой грузоподъемности и использование в дорожной практике новых дорожно-строительных материалов;

- разработка и использование мобильных лабораторий, позволяющих с высокой точностью экспрессными методами определять всю совокупность технико-эксплуатационных характеристик дорог;

- обоснование комплексных программ по сбору информации и исследованию состояния дорожного объекта и окружающей среды в зонах дислокации дорожных испытательных станций;

- формирование потока технической и метеорологической информации необходимой для термокартирования дорожной инфраструктуры – организационной основы реального учета текущих и прогнозных условий движения;

- увязка диагностических характеристик состояния дорог с организацией и технологией их содержания и ремонта, комплексной оценкой безопасности движения и эффективностью работы автомобильного транспорта.

5. Вопросам теории диагностирования автомобильных дорог необходимо уделять большое внимание в периодических изданиях дорожного профиля, в учебных программах по дисциплинам специальности «Автомобильные дороги», учебных и методических пособиях.

Литература

1. Автомобильные дороги. / Я. Н. Ковалев [и др.]. – Минск, АртДизайн, 2006. – 352 с.
2. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог / И. И. Леонович, С. В. Богданович, В. В. Голубев [и др.]; под ред. И. И. Леоновича. – Мн.: БНТУ, 2002. – 357 с.
3. Корсунский, М.Б. Оценка прочности дорог с нежесткими

жья. Можно считать, что в настоящее время имеется большое количество дорожных испытательных станций, достаточное количество моделей лабораторного оборудования, портативных приборов и мобильных лабораторий для оценки прочности дорожных одежд, ровности дорожного покрытия, шероховатости, сцепных качеств проезжей части, светотехнических характеристик дорожных знаков и разметок, определения основных экологических составляющих окружающей среды, оценки весовых параметров, интенсивности и состава транспортных потоков. Современный арсенал высокоточного электронного оборудования позволяет решать многие вопросы определения физических параметров дорожных поверхностей, геометрических параметров сооружений и процессы их деформирования при воздействии на них транспортных нагрузок и изменения температуры окружающей среды.

Главной проблемой на современном этапе является укомплектование дорожно-строительных и дорожно-эксплуатационных организаций всеми приборами и оборудованием необходимыми для непрерывного, в режиме мониторинга, проведения работ по диагностике автомобильных дорог, а также определения эффективности дорожно-ремонтных работ [5]. Наряду с диагностикой автомобильных дорог, безусловно, требует развития и база стендовых испытаний [6].

На основании приведенной выше информации и с учетом задач, которые вытекают из государственной программы «Автомобильные дороги Беларуси» на 2006-2015 гг. можно сделать следующие выводы.

1. Диагностика автомобильных дорог, как наука и установившаяся практика, имеет достаточно надежную теоретическую основу для своего функционирования. Параллельно с теорией развивается и экспериментальная база, что позволяет проводить масштабные работы по оценке качества автомобильных дорог, особенно республиканского значения.

2. Разработанные в РУП «Белдорцентр» методики проведения работ по диагностике автомобильных дорог, установленные нормы для основных характеристик автомобильных дорог различных категорий и принятая система контроля за их соблюдением позволили повысить культуру производства работ по содержанию, строительству, капитальному и текущему ремонту

установления функциональных и корреляционных зависимостей в системе ВАДСС.

При диагностике дорожных знаков, вертикальной и горизонтальной разметки, функциональных особенностей котопфотов и других объектов дорожного интерьера широко используются теоретические положения геометрической оптики и, прежде всего, законы фотометрии. Они позволяют определить энергию светового потока, силу света, освещенность, яркость, светимость и другие светотехнические характеристики дорожных объектов и сооружений.

Третья группа диагностических параметров отражает, с одной стороны, дорожно-транспортную составляющую (ширину проезжей части, состояние покрытия, продольные уклоны трассы, вид транспортного средства и его технические характеристики), а с другой – социально-экономическую (плотность населения, наличие и обустройство остановочных пунктов общественного транспорта, принятая система регулирования движения). Каждая из этих составляющих может быть детально раскрыта на основании социально-технических, экономических и экологических закономерностей, которые содержатся в научной и справочной литературе по проблемам транспортных коммуникаций.

Оценка параметров четвертой группы связана с тяговыми и динамическими характеристиками транспортных средств, теорией движения автомобилей, системой случайных процессов при формировании транспортных потоков, прогнозированием безопасности дорожного движения и влиянием дорожных и погодноклиматических условий на возможность реализации планов перевозочного процесса.

4. Экспериментальная база диагностики автомобильных дорог.

Как уже было отмечено выше, оценка качества автомобильных дорог базируется на ряде теоретических положений. Эти положения раскрыты в трудах ученых СоюзДорНИИ, МАДИ (ГТУ), Киевского и Харьковского университетов дорожного профиля, БНТУ, РУП «Белдорцентр» и других научных центров. Экспериментальная база в центрах диагностики формируется приборами и оборудованием, которые выпускают многие предприятия и организации в странах СНГ и дальнего зарубе-

время сообщения; эмоциональная безопасность, энергетические и органомиические затраты и др.

4). *Транспортные характеристики*, т.е. показатели, которые определяют технические и транспортно-эксплуатационные качества транспортного потока. К ним относятся: скорость, интенсивность, состав, однородность и плотность транспортного потока, осевые нагрузки, габариты транспортных средств и др.

Каждая из этих диагностических групп имеет или должна иметь соответствующую теоретическую и экспериментальную базу, используя которую можно получить численные данные, объективно характеризующие состояние дорожного объекта и дорожной сети в целом.

3. Теоретическая база диагностики автомобильных дорог.

При оценке параметров первой группы теоретической базой является метрология и стандартизация, включающая измерение линейных, угловых и высотных величин, географическое позиционирование, а также вычисления вероятности и достоверности получаемых результатов на основе теории вероятности и математической статистики.

Вторая группа диагностических параметров отличается особенно большим разнообразием, и поэтому здесь приходится учитывать различные физические, физико-химические, механические и другие закономерности [4].

При диагностике автомобильных дорог большое значение имеют: теория надежности и долговечности транспортных сооружений; теория деформирования упруго-вязко-пластических тел, к которым относится большинство дорожных конструкций, состоящих из органоминеральных композиций; теория упругости, используемая для расчета жестких и нежестких дорожных одежд; тепло-массообмен, протекающий в земляном полотне и дорожных одеждах под влиянием погодно-климатических факторов; закономерности поверхностного стока, фильтрации и гидродинамики; устойчивости грунтовых масс и коррозии материалов.

Особое место в раскрытии закономерностей транспортно-эксплуатационного состояния дорог в различные периоды и годы принадлежит теории математического моделирования и

но-транспортного комплекса следует оценивать дифференцированно, а о качестве дорог в целом – судить на основании их всестороннего анализа. Для всестороннего анализа автомобильных дорог, как важнейшей составляющей дорожно-транспортного комплекса, целесообразно выделить следующие группы диагностических характеристик:

1). *Технические характеристики дорог*, т.е. параметры автомобильных дорог, которые были приняты на стадии их проектирования и реализованы при строительстве. К ним относятся: ширина земляного полотна, обочин и разделительной полосы; высота насыпи и глубина выемок; крутизна откосов; ширина проезжей части и число полос движения; радиусы круговых кривых в плане и профиле дороги; расчетная видимость; продольные уклоны; тип дорожной одежды и ее конструкция; система обустройства; пересечения с другими линиями транспортных коммуникаций; освещение; декоративное и сервисное обустройство и др.

2). *Технико-эксплуатационные характеристики*, т.е. показатели состояния дорог, которые не являются постоянными в процессе их эксплуатации, а изменяются или могут изменяться под влиянием погодно-климатических факторов, внешних нагрузок или в результате старения материала. К ним относятся: прочность дорожной одежды; продольная и поперечная ровность и шероховатость (скользкость) покрытия; метеорологическая видимость; обзорность дорожного интерьера; освещенность и яркость проезжей части; уровень дефектности и снегозаносимости дороги; эрозионная стабильность земляного полотна, надежность функционирования в чрезвычайных ситуациях.

3). *Коммуникативные характеристики*, т.е. показатели, с помощью которых дается оценка возможности автомобильным транспортом успешно выполнять возможные функции с минимальными издержками дорожного движения. К ним относятся: допустимая скорость движения; обеспеченность расчетной скорости; эффективная ширина проезжей части; пропускная способность; уровень загрузки дороги движением; допустимые весовые нагрузки на проезжую и мостовые конструкции; габаритные параметры транспортных средств; безопасность движения;

банки данных, отражающие особенности эксплуатации автомобильной дороги за весь рассматриваемый период.

4. Систематический контроль в режиме мониторинга, транспортных потоков с определением интенсивности и состава движения, габаритов и весовых параметров транспортных средств, допустимых и реализуемых скоростей движения.

5. Выявление мест концентрации дорожно-транспортных происшествий с определением причин из возникновения и установлением влияния дорожной составляющей на безопасность движения транспортных потоков.

6. Сбор информации и микроклимата дорожного интерьера необходимой для создания термокарт, являющихся основой научно-обоснованного управления состоянием дорог и оптимальным использованием противогололедных материалов, играющих отрицательную роль в экологической безопасности окружающей среды.

Основными задачами учебной дисциплины являются:

1) сбор объективной информации о техническом состоянии городских улиц и дорог и всех относящихся к ним сооружений;

2) оценка технико-эксплуатационного состояния улиц и дорог с определением участков, требующих ремонта; выявление причин этого несоответствия; [3]

3) прогнозирование изменений состояния улиц и дорог, разработка рекомендаций по повышению уровня эксплуатационного состояния с определением видов и объемов работ;

4) планирование дорожных работ с учетом фактически выделяемых средств для полного или ограниченного их финансирования;

5) формирование автоматизированного банка дорожных данных, включающего в себя обработку, хранение и выдачу информации о технико-эксплуатационном состоянии сети автомобильных дорог.

2. Классификация основных направлений диагностирования автомобильных дорог.

При планировании и организации работ по диагностированию автомобильных дорог целесообразно учитывать, как диагностируемые параметры, так и возможности их использования для принятия управленческих решений. По-нашему мнению основные характеристики автомобильных дорог и всего дорож-

В арсенале диагностики дорог имеется значительная приборная база, а основные положения диагностирования и критерии качества дорог вошли во многие нормативные документы. Наряду с экспериментальной диагностикой развивается и теория диагностирования. Однако она далека от совершенства. Очевидной является необходимость ее дальнейшего развития и в первую очередь, ее рамочное рассмотрение.

1. Цели и задачи диагностики. Диагностика по отношению к существующим автомобильным дорогам имеет конкретные цели. Они могут быть сформулированы следующим образом: [2]

1. Определение технического состояния, в котором дорога находится в рассматриваемый период времени. Этот вид работ выполняется в процессе диагностики с использованием инструментов, приборов, различного вида установок и передвижных лабораторий. В Республике Беларусь широко применяются, как отечественные, так и зарубежные контрольно-измерительные приборы. Руководство по систематическому контролю технико-эксплуатационного состояния автомобильных дорог осуществляет РУП «Белдорцентр». Непосредственный контроль осуществляют дорожно-эксплуатационные организации и РУП «Белдорцентр».

2. Прогнозирование технического состояния, в котором окажется автомобильная дорога по истечении определенного периода времени. Этот вид работ может быть назван диагностированием прогнозов. Он включает, с одной стороны, детальное экспериментальное исследование состояния дорог с помощью имеющихся технических средств, с другой – разработку прогнозов по специально построенным алгоритмам и программам. К сожалению, такие алгоритмы и программы еще не доведены до совершенства. Их усовершенствование – задача первостепенной важности, на решение которой должны быть нацелены научные коллективы республики.

3. Выявление первопричин возникновения тех или иных дефектов, их генезиса. Этот вид диагностики базируется на данных контроля качества дорожно-строительных материалов, используемых при строительстве, материалах анализа условий эксплуатации дороги, закономерностях изменения свойств материалов под воздействием природных факторов и транспортных нагрузок. Несомненную пользу при этом могут принести

2. Finn F. Pavement Management Systems – Past, Present, and Future Public Roads, July/August 1998.– Vol. 62.– No. 1
3. Эксплуатация автомобильных дорог, их ремонт и содержание // Автомобильные дороги Беларуси: Энциклопедия / под общ. ред. А. В. Минина. – Минск: БелЭн, 2002. – 672 с.
4. Leonowicz, I. Nowe zasady opracowania systemów zarządzania stanem nawierzchni [Electronic resource]/ I. Leonowicz, S. Bohdanowicz // Materiały konferencyjne I Polskiego Kongresu Drogowego "Lepsze drogi - lepsze życie". – Warszawa, 2006. – Mode of access: http://szablony.idcom.pl/pkd/szablony/szablony/719/pliki/leonowicz,_bogdanowicz.pdf. Date of access: 02.02.2007

УДК 625.87

**Теоретические основы современной диагностики
автомобильных дорог**

Леонович И. И.

Белорусский национальный технический университет

Введение. Диагностика – это наука по выявлению дефектов в конструктивных элементах сооружения, оценке общего состояния и определению соответствия автомобильных дорог предъявленным к ним коммуникативным требованиям. Ее можно отнести к числу молодых. Она стала развиваться с того времени, когда особую актуальность приобрело качество дорог, а для его определения начали использоваться приборы и оборудование, позволяющие получать численные характеристики.

При диагностике автомобильной дороги определяют параметры ее конструктивных элементов, ровность покрытия, прочность и степень износа верхнего слоя дорожной одежды, шероховатость и скользкость поверхности проезжей части, светотехнические характеристики объектов дорожного интерьера, аэродинамическую и гидрогеологическую устойчивость дорожных сооружений, термоустойчивость материалов дорожной конструкции, а также производят диагностирование транспортных потоков и погоднo-климатических условий эксплуатации дорог [1].

критерием при назначении ремонтных мероприятий становится состояние дорог в данный момент времени, например, выявленное в результате выполненного осмотра. Работая по такому принципу можно улучшить состояние отдельной дороги или даже небольшой сети дорог, однако улучшить состояние всей сети в целом практически невозможно.

Третий принцип системного подхода – обратная связь. Обратная связь означает соединение между выходом и входом системы, осуществляемое либо непосредственно, либо через другие элементы системы.

С помощью обратной связи информация от объекта управления передается в орган управления. Здесь эта информация сравнивается с данными о содержании и объеме работы (например, с планом). В случае возникновения рассогласования между фактическим и плановым состоянием работы принимаются меры по его устранению.

Нарушение обратных связей в социально-экономических системах по различным причинам ведет к тяжелым последствиям. Отдельные локальные системы могут вообще утратить способность к эволюции.

В том случае, если владелец дорог желает добиться улучшения состояния своей сети необходимо постоянно анализировать параметры дорог после проведения ремонтов и своевременно корректировать в случае необходимости планы своих работ для более полного достижения цели. Своевременно принятые меры в этом случае позволят не допустить дальнейшего ухудшения ситуации с состоянием дорог.

Использование только этих основных принципов при назначении ремонтных мероприятий для сети дорог позволит преодолеть негативные тенденции ухудшения их состояния и обеспечить переход к удержанию их в стабильном состоянии или даже к развитию.

Литература

1. Робинсон, Р. Управление ремонтом и содержанием автомобильных дорог. Концепции и системы / Р. Робинсон, У. Даниэльсон, М. Снэйт; Пер. с англ. под ред. В. В. Сильянова. – М.: Информавтодор, 2003. – 383 с.

пример объединенные в единый показатель с применением принципов нечеткой логики [4].

Целью является не каждое намерение или пожелание. Настоящей цели свойственно пять отличительных признаков.

1. Точность или конкретность – цель должна быть сформулированной таким образом, чтобы быть четкой, отчетливой и точной для того, чтобы избежать неправильной оценки

2. Цель должна иметь численное выражение для того, чтобы можно было судить о том, достигнута она или нет. Такие цели, в которых нет шкалы измерений, следует оценивать по длительности процесса.

3. Цель должна быть такой, чтобы было возможным в соответствии с имеющимися ресурсами достичь ее в пределах выделенного времени.

4. Реалистичность цели определяется равновесием между безопасностью и риском. Этот показатель отражает физические возможности достижения цели.

5. Цель должна учитывать имеющийся уровень развития, и быть ориентирована на определенное его превышение.

Второй принцип системного подхода, который необходимо учитывать при планировании ремонта дорог состоит в том, что для оценки любого решения следует определить все существенные взаимосвязи и установить его влияние с учетом этих взаимосвязей на поведение всей системы, а не только ее части. Подчеркнем, что здесь речь идет о существенных связях, а не о связях вообще.

Иначе говоря, при рассмотрении того или иного частного вопроса требуется оценить, как то или иное его решение может сказаться на системе в целом, разумеется, не усложняя исследование изучением второстепенных связей.

Это означает, что при планировании ремонтов автомобильных дорог необходимо анализировать, как с точки зрения достижения цели повлияют те или иные ремонтные мероприятия на состояние сети дорог в целом в течение некоторого промежутка времени, называемого периодом анализа. Такие расчеты возможны только с использованием моделей прогнозирования и вычислительной техники.

К сожалению, на практике преобладает то, что называется принципом локального оптимума. При таком подходе главным

случае цель можно сформулировать, оставаясь на уровне системы. Для этого необходимо принять во внимание, что цели можно классифицировать по различным признакам: уровню стабильности, содержанию, функциональному уровню, уровню управления, степени открытости и др. Основным является признак уровня стабильности. Это значит, что какие бы цели не стояли перед нами, основополагающей является цель, характеризующаяся уровнем стабильности. Может совсем ни быть никаких других целей, кроме одной – цель стабилизации системы или цель развития системы.

Что означает цель стабилизации применительно к существующим дорогам? Стабилизация предусматривает удержание системы в существующем состоянии или в определенных пределах в условиях возмущающих внешних воздействий. Важно четко понимать, что именно понимается под состоянием, поскольку неправильный выбор критериев приведет к неоправданно завышенному расходу бюджетных средств.

Обычно, когда говорят о состоянии дорог, выделяют показатели технического и эксплуатационного уровня [3]. Показатели технического уровня или не изменяются с течением времени, или изменяются очень медленно, а проведение капитальных и текущих ремонтов практически не оказывает на них влияния. По этой причине они не подходят в качестве критерия при постановке цели.

Эксплуатационные параметры изменяются в процессе эксплуатации дороги. Проведение ремонтных мероприятий оказывает существенное влияние на их значение. Чаще всего к показателям эксплуатационного уровня относят: ровность покрытия, дефектность, сцепные качества (коэффициент сцепления и шероховатость покрытия), прочность дорожной одежды. Каждый из этих критериев в отдельности является важным, и это может привести к тому, что появится желание использовать их все в качестве показателей, характеризующих достижение цели. Такой подход будет ошибочным, поскольку не учитывает скорость изменения показателей состояния. По нашему мнению, для характеристики цели следует использовать только те показатели, скорость изменения которых наибольшая. К ним относятся ровность покрытия, выраженную по шкале IRI, и его дефектность. Можно использовать только один из показателей, или оба, на-

Альтернативой ситуативному подходу является системный подход. Системный подход – чрезвычайно мощный инструмент, применение которого позволяет значительно повысить эффективность любой деятельности даже в рамках имеющихся ресурсов. К использованию системного подхода при принятии решений проявляется все более широкий интерес со стороны специалистов по управлению и хозяйственных руководителей. Его все чаще называют новым типом управленческого мышления. И в настоящее время практически в любой научной работе по экономическим, управленческим проблемам содержатся ссылки на использование системного подхода.

Рассмотрим основные принципы системного подхода при применении его к назначению ремонтных мероприятий на автомобильных дорогах.

Уяснить в чем заключается задача, значит существенно продвинуться в исследованиях. И наоборот – неправильно понять задачу – значит, направить исследование по ложному пути. Этот этап непосредственно связан с фундаментальным философским понятием цели, т.е. мысленным предвосхищением результата. Сформулировать цель значительно труднее, чем следовать принятой цели.

На первый взгляд понятие цели чрезвычайно простое. Однако такая кажущаяся простота вопроса привела к тому, что мы вообще перестали размышлять о целях, перестали их перед собой ставить, а, следовательно, перестали им следовать в жизни. Тогда как логической основой изучения любых систем является точное определение целей системы, то есть смысла ее существования.

В терминологии системного анализа под целью понимают желаемое состояние системы или результаты ее деятельности, достижимые в пределах некоторого интервала времени. Во имя осуществления целей создаются и развиваются сами системы.

При определении цели первое, что необходимо учесть, это то, что основная цель системы определяется надсистемой, то есть более крупным образованием, в которую наша система входит как элемент. Очевидно, что в случае автомобильных дорог такой надсистемой является транспортный комплекс. Однако положение осложняется тем, что цели и задачи надсистемы могут быть неизвестны, или известны не полностью. В этом

ренций по данному вопросу, позволяет сделать несколько неожиданные, на первый взгляд, выводы.

Разработчики систем управления абсолютно не заинтересованы в распространении реальных знаний о PMS. Их единственной целью является продажа своего продукта, поскольку покупатель при этом становится почти абсолютно зависимым от поставщика не только в части методики, но и в использовании измерительного оборудования. По этой причине мы не найдем в материалах по PMS ответа на вопрос «почему», а получим только набор инструкций, к тому же не достаточно гибкий. При этом во многих случаях мы можем найти достаточно подробное описание инженерных и экономических моделей, используемых в системах. Интересно, что знакомство с данными моделями может привести к впечатлению о том, что это, собственно, и есть система управления состоянием покрытий. Однако разработчики систем не раскрывают глубинных принципов их построения. В таких условиях простое копирование инженерных и экономических моделей расчетов приведет к созданию лишь псевдо системы, работа по которой привет только к дополнительным затратам. Таким образом, рассмотрение любых аспектов проблемы системного управления состоянием автомобильных дорог представляется актуальным и своевременным. Определенные проблемы, связанные с системным управлением состоянием дорог, имеется уже на стадии принятия основных управленческих решений.

Как 30 или 50 лет назад в нашей работе господствует ситуативный подход, или управление по обстоятельствам. Определяющим принципом этого подхода является адекватность управленческого решения относительно конкретной ситуации. Адекватным в данной ситуации полагается решение, наилучшее с точки зрения изменения ситуации, непосредственно после оказания на нее соответствующего управленческого воздействия. Стремление отреагировать на каждый новый поворот или разворот (изменение видения) ситуации адекватным образом приводит к тому, что мы вынуждены принимать все новые и новые решения, а со временем может оказаться, что они идут вразрез с прежними. Мы фактически перестаем управлять событиями. Получается, что все сводится к принципу: ремонтировать там, где разваливается.

грузоподъемности автомобилей, позволяющей оперативно реагировать практически на любые потребности в перевозках.

По этой причине наличие эффективной системы автомобильного транспорта в большинстве стран мира рассматривается как одно из важнейших условий для дальнейшего развития экономики. Развитые страны вкладывают огромные ресурсы в строительство и улучшения состояния автомобильных дорог. Сеть автомобильных дорог при этом приобретает ценность национального актива, составляющего значительную долю национального богатства, а дорожный сектор дает большой вклад в валовой национальный продукт. В связи с этим важно и необходимо, чтобы этот актив управлялся с использованием наиболее современных и обоснованных принципов [1].

Сеть автомобильных дорог любой страны имеет сложную пространственную форму, участки дорог имеют самый разный возраст, конструктивные особенности, транспортно-эксплуатационное состояние. Управлять таким активом чрезвычайно сложно, а с сокращением выделяемого на дороги финансирования сложность процессов управления возрастает.

Ответом на все увеличивающуюся сложность процесса принятия решения при управлении состоянием дорог стало появление и развитие систем управления состоянием покрытия (pavement management systems, PMS). Сейчас невозможно со всей определенностью сказать, где и когда появилась первая PMS, принято только считать, что это произошло на переломе 60-70 годов 20 века. [2]. За это время системы управления состоянием покрытий прошли путь от простейших наборов инструкций до сложнейших компьютеризированных систем, а их разработка и развитие выделились в отдельную отрасль дорожной науки. Многие западные фирмы свой бизнес полностью строят на разработке и внедрении PMS в развивающихся странах и на консультациях в этой области. Большую роль придает использованию PMS Мировой Банк, финансировавший разработку четырех поколений системы HDM, которую можно назвать самой известной PMS в мире.

В то же время, изучение многочисленных информационных и исследовательских материалов по PMS, имеющихся в сети Интернет, ознакомление с материалами международных конфе-

4. Bergman-Syren, J. Anwendung von Pavement-Management-System für die Planung der Straßenerhaltung durch die Straßenbauverwaltung der Länder-Beispiel Hessen / J. Bergman – Syren // Deutscher Straßen- und Verkehrskongreß, Düsseldorf 1996; Kongreßbericht der FGSV, S. 91
5. Anthony, R. United States Vision, for Total Highway Asset Management./ R. Anthony R., L. Jose , A. Aldayui.// American Association of State Transportation Officials (AASHTO) – 444 N. Capitol St. NW, Suite 249 Washington. DC 20001. For presentation and publication an the 2nd International Conference on Bridge Maintenance/ Safety and Management, Kyoto Japan, October 19-22, 2004.
6. ROMAPS-PS. Rough ton Internationals Maintenance Planning System. Installation and Operations Manual. Volume 1 and 2/ 1998. Page 72 and 149
7. Васильев, А. П. Комплексный метод оценки качества и состояния автомобильных дорог/ А. П. Васильев // Автомобильные дороги, 1989 – № 7. – С.10–11; № 8. – С. 7–10.
8. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог: учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, В. В. Голубев [и др.]; под ред. И. И. Леоновича. – Минск: БНТУ, 2002. – 357 с.
9. Гасанов, Г. М. Управление транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог / Г. М. Гасанов. – М.: МАДИ (ГТУ), 2005. – 172 с.
10. Курганов, В. М. Управление автомобильными перевозками на основе ситуационного подхода: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / В. М. Курганов. – Москва, 2004. – 323 с.

УДК 625.7

Проблемы и перспективы системного управления состоянием автомобильных дорог

**Леонович И. И., Богданович С. В.
Белорусский национальный технический университет**

В настоящее время автомобильный транспорт приобрел особое значение для экономики большинства стран. Это во многом объясняется его высокой мобильностью, широким диапазоном

инструментом для этих операций является банк дорожных данных, являющийся важной составной частью любой системы управления.

В соответствии с установленными приоритетами современную систему мониторинга дорожно-транспортного комплекса следует развивать по трем основным направлениям:

- мониторинг технических параметров автомобильных дорог и состояния покрытия;
- мониторинг транспортного потока;
- мониторинг состояния окружающей среды.

Установление геометрических характеристик и идентификация функционального класса автомобильных дорог осуществляется на стадии инвентаризации.

Большое значение с точки зрения эффективности управления системами имеет достоверность прогнозирования состояния системы в будущем на основании анализа состояния в настоящее время.

Для прогнозирования состояния принято использовать разные методы моделирования. Вместе с тем, как считает Курганов В.А.: «... процедура прогнозирования должна сочетать в себе все положительные качества различных методов получения информации. Необходим расчет математической модели прогнозирования, ..., проверка ее адекватности на основе имеющихся результатов натуральных наблюдений, а само прогнозирование должно осуществляться в интерактивном режиме с участием экспертов, которые вносят поправки в результаты расчета, исходя из содержательного анализа причинно-следственных факторов...» [10].

Литература

1. Комплексная система управления качеством в Миндорстрое БССР. – Минск, 1977.
2. Красиков, О. А. Мониторинг и стратегия ремонта автомобильных дорог/ О. А. Красиков. – Алматы: КазгосИНТИ, 2004.– 263 с.
3. Автомобильные дороги Германии. Федеральное министерство транспорта Германии. Bundesministerium für Verkehr (BMV), Bonn, 1995.

эксплуатационным состоянием автомобильных дорог "Ремонт", разработанная в РУП "Белорусский дорожный инженерно-технический центр". Система собирает данные в автоматизированный банк данных, на основании инженерного анализа производит оценку и прогнозирование состояния, позволяет обосновать выбор стратегии ремонта, а также рассчитать экономическую эффективность и оптимизировать затраты на ремонт.

3. Прогнозирование состояния и управление состоянием автомобильных дорог. При всем многообразии имеющихся систем все они объединены общими принципами построения и функционирования. Схема системы управления состоянием автомобильных дорог, предлагаемая Г.М. Гасановым приведена на рисунке 2 [9].

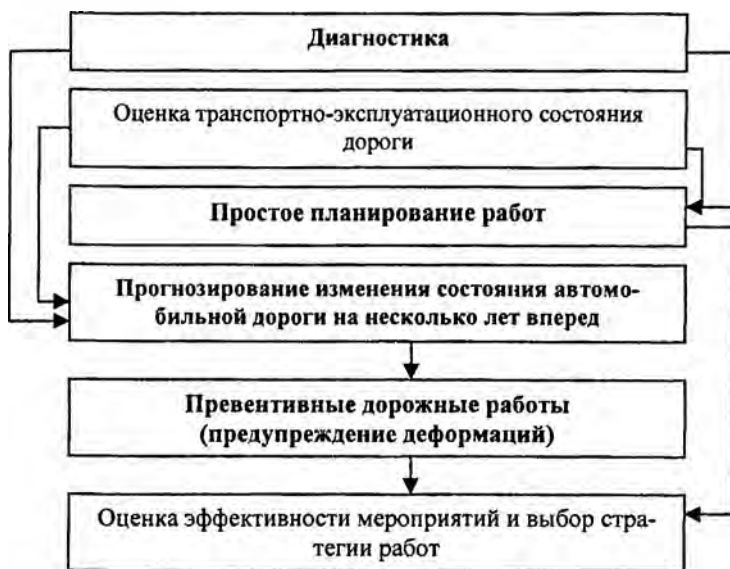


Рисунок 2 - Система управления состоянием автомобильных дорог

При значительной протяженности дорожной сети хранение и обработку собранных данных можно осуществлять только с использованием средств вычислительной техники. Основным

Американская система управления состоянием дорог и мостов AASHTO [5] является аналогом HDM и включает значительный перечень решаемых инженерных задач, в том числе транспортных, таких как проезд большегрузных автомобилей с пересечением границ других государств, экономических - выбор оптимальных проектных решений, а также экологических и социальных. Функционирование системы осуществляется на основе анализа значительного объема информации и требований стандартов. Система предусматривает постоянный мониторинг дорог и мостов.

Английская система управления состоянием дорог RO-MAPS (Roughton International's Maintenance Planning System) используется в 12 странах [6]. Она является также аналогом HDM и PMS. В методологическом плане она включает в себя две основные подсистемы MMM (Maintenance Management Methodology) и DBMS (Database Management System), которые в качестве функционирующих компонентов содержат RAdb (Road Asset inventory and condition database) и MPdb (Maintenance Planning application). Система не только совместима с HDM, но и включает отдельные ее подпрограммы. Существование этой системы, так же как, впрочем, и PMS, свидетельствует о том, что каждая страна стремится создать свою систему, которая бы учитывала новейшие достижения и специфические экономические, климатические, технологические и др. особенности исследуемого региона.

Система мониторинга и планирования ремонтных работ МАДИ разработана под руководством профессора Васильева А. П. [7] В основу методики положены элементы системы диагностики автодорог [8]. Выходным параметром системы является обеспечиваемая дорогой скорость движения автомобиля с учетом влияния на нее состояния покрытия, обочин, интенсивности движения, прочности одежды и др. Существенным отличием системы являются показатели обеспечения расчетной скорости по наиболее важным параметрам дорог с использованием их при определении транспортных расходов. Значения этих показателей были пронормированы, что обеспечило возможность на предварительной стадии ранжировать участки дорог по степени их соответствия требованиям движения транспорта.

В Республике Беларусь для республиканских автомобильных дорог используется система управления транспортно-

ность, в отличие от общепринятой практики, оценивается не по международному показателю ровности IRI, а по спектральной плотности распределения неровностей по длине дороги. Колея также оценивается с использованием лазерного прибора. Сцепные качества определяются прицепной установкой типа ПКРС. Трещины и другие повреждения фиксируются на видео. При проведении исследований скорость передвижных лабораторий устанавливается не менее 80 км/ч, чтобы не создавать помех движению транспортного потока на обследуемой дороге.

По результатам выполненных измерений формируется база данных. Состояние дорог оценивается по каждому показателю по четырехбалльной шкале в соответствии с графиком, представленном на рисунке 1.



Рисунок 1 – Оценка состояния дорог в зависимости от значения показателя по измерениям

- RoSy Design – проектирование усиления дорожных конструкций.

Данная система позволяет учитывать влияние холодного климата и основные особенности HDM-IV.

«В системе RoSy PMS также учтен процесс прогнозирования развития указанных повреждений покрытия во времени В отличие от HDM. в системе RoSy более детально проработан вопрос вариантного назначения конструктивных слоев усиления дорожной одежды. Вместе с тем, экономическая сторона вопроса при обосновании оптимальной стратегии выполнения дорожно-ремонтных работ уступает модели HDM. Следует отметить, что при вариантной проработке усиления дорожных одежд используется европейская методика расчета усиления, которая отличается от методики СНГ, что сказывается на толщинах слоев усиления» [3].

Оптимизационные решения в системе RoSy выполняются путем расчета по различным схемам назначения ремонтных работ с использованием критерия дисконтированных затрат за период 30 лет.

В Германии в настоящее время используется собственная система менеджмента сохранения дорог [4], унифицирующая разные системы федеральных земель. Основными элементами немецкого менеджмента сохранения автомобильных дорог являются:

- концепция сохранения дорог с учетом транспортной политики и экономических целей;
- системный порядок действий и функции управления в основе планирования работ по содержанию дорог;
- требования к дорогам и дорожным сооружениям;
- методы планирования и оптимизации;
- информационные связи в системном рассмотрении, с учетом контроля за мероприятиями по содержанию.

Разработанная в Германии система PMS базируется на четырех показателях, которые определяются инструментально:

- продольная ровность дорожного покрытия;
- поперечная ровность (колея);
- сцепные качества;
- наличие трещин и других деформаций на покрытии.

Каждый из перечисленных параметров контролируется специализированной передвижной лабораторией. Продольная ров-

в остальном система обладает всеми качествами хорошо разработанной PMS. И настоящее время разработана уже четвертая версия HDM - IV. Область применения этой версии значительно расширилась по сравнению с традиционной оценкой проектов, в настоящее время эта мощная система анализа управления автомобильными дорогами и инвестициями используется многими странами для управления сетью национальных дорог. С использованием HDM – IV можно решать следующие задачи:

- анализ и уточнение проектных решений на основе вариантного проектирования;
- оценка эффективности вложений инвестиций по вариантам проектных решений, в т.ч. по вариантам развития сети дорог;
- планирование и прогнозирование инвестиций на ремонт и содержание сети дорог (текущее и долговременное планирование);
- оценка эффективности технических решений и технологий ремонта дорог;
- анализ деятельности дорожных предприятий и др.

Экономические выгоды от дорожных инвестиций определяются сравнением общих затратных потоков на различные варианты дорожных и строительных работ с базовым вариантом («ничего не делать»), который обычно предусматривает минимальные затраты на текущий ремонт и содержание. HDM-IV позволяет проводить сравнительные оценки затрат и экономического анализ различных инвестиционных предложений. Она оценивает затраты на большое количество вариантов на любой заданный пользователем период времени.

Система управления состоянием дорог и мостов, используемая в Дании, Швеции, Чехии, Норвегии и др. RoSy PMS, BMS (Road Systems Pavement, Bridg Management System) состоит из следующих основных модулей (рисунок 3) [4]:

- RoSy BASE – формирование базы данных по дорогам и их электронная обработка;
- RoSy BMS – формирование базы данных по мостам, обоснование и назначение ремонтных работ;
- RoSy Plan – выработка возможных оптимальных способов содержания и обслуживания дорожной сети;

«...применительно к автомобильным дорогам, под мониторингом (monitoring) следует понимать систему наблюдений и контроля за состоянием объекта, состоящую из трех основных этапов: наблюдения, оценки состояния и прогноза возможных изменений» [3]. Конечной целью мониторинга является возможность оптимального управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог посредством выбора стратегии решения задач ремонта и содержания.

О.А. Красиков предлагает выделять следующие задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

«- диагностика автодорог, формирование и постоянное обновление банка данных об их транспортно-эксплуатационном состоянии, интенсивности и составе движения транспорта, о дорожно-строительных материалах и их характеристиках, о нормативных требованиях к дорогам и т.п.,

- планирование очередности ремонтных мероприятий на текущий момент с учетом ограниченных ресурсов,

- прогнозирование состояния дорог и планирование очередности ремонтных мероприятий на перспективу с обоснованием стоимости их выполнения,

- регулирование и организация дорожного движения транспорта,

- реализация планов дорожно-ремонтных работ с выбором оптимальных технологий,

- обеспечение качества дорожно-ремонтных работ» [3].

2. Системы мониторинга автомобильных дорог с выходом на решение задач по управлению их состоянием. В настоящее время в мире имеется множество систем управления, среди которых можно отметить RoSy PMS, BMS (Дания, Швеция, Норвегия и др.), ROMAPS (Великобритания), AASHTO (США), Dighton (Канада), Davasema (Литва), Visage, Argus, (Франция).

Большое внимание проблеме содержания и ремонта дорог уделяют мировые финансовые институты, - в первую очередь, Мировой Банк. При его поддержке разработана инженерно-экономическая Модель Стандартов Проектирования и Содержания Автодорог (HDM (Highway Development and Management Tools)). В HDM отсутствует только полноценный банк данных,

Диагностика технического и транспортно-эксплуатационного состояния дорог

УДК 625.7

Диагностика как основа менеджмента качества
автомобильных дорог

Кашевская Е. В.

Введение

Как правило, основной проблемой обеспечения высокого уровня качества автомобильных дорог все специалисты дружно называют недостаточное финансирование.

Перед подобной проблемой в 70-80 годах XX века оказались многие страны. Для оптимального распределения имеющихся средств на ремонт дорог в развитых странах Западной Европы, США, Канаде и др. начали развиваться системы управления состоянием покрытий - PMS (Pavement Management Systems). В бывшем СССР также проводились работы по созданию систем управления дорожным хозяйством на стадии эксплуатации автомобильных дорог. Специалисты дорожной отрасли Белоруссии достигли при этом больших успехов[1].

1. Задачи управления состоянием дорожных покрытий. «В широком смысле система управления состоянием дорожных покрытий - это координированная совокупность всех видов деятельности связанных с планированием, проектированием, строительством, текущим содержанием и оценкой состояния дорог, а также с научными исследованиями в области дорожных одежд. Часто термин применяют в более узком смысле, понимая под ним взаимосвязанную совокупность процедур и моделей сбора и обработки данных о состоянии покрытия, а также разработанное на их основе программное обеспечение.»[2].

Система позволяет обеспечить поступление информации для ответа на вопрос об очередности ремонта дорог и принятия наилучших решений. Инструментом получения информации является мониторинг. Красиков О.А. полагает, что

Архитектурное оформление объектов является также отражением локальных традиций, культурных особенностей стран и регионов.

Польский опыт мостостроения показывает, что висячие мостовые конструкции не являются характерными для этого региона (хотя имеются единичные примеры).

Хотя разнообразие мостовых сооружений в Польше меньше в сравнении с мировым опытом, можно заметить значительный прогресс в польском мостостроении в течение последнего десятилетия. Это особенно касается вантовых конструкций и конструкций смешанного типа (за последние годы появились мосты со смелыми конструктивными решениями, использующими ванты [3]). В Подляском воеводстве количество применяемых конструктивных схем мостов значительно меньше – четыре.

Заключение

Все вышесказанное позволяет сделать следующие выводы:

1. Анализ развития мостостроения показывает наличие эволюции в развитии конструктивных схем в связи с появлением новых материалов и технологий.

2. Один и тот же конструктивный тип моста дает различные архитектурные решения при использовании разных материалов.

3. Анализ общепольской практики показывает, что из десяти существующих типов (основных и смешанных) конструктивных схем в Польше используются только семь типов, в Подляском воеводстве количество применяемых типов конструктивных схем сводится к четырем.

Литература

1. Madaj, A. Podstawy projektowania budowli mostowych / A. Madaj, W. Wołowicki. – Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2003. – С. 195.
2. Graf, B. Bridges that changed the world / B. Graf. – Prestel – Munich, 2005.
3. Flaga, K. Estetyka konstrukcji mostowych / K. Flaga, K. Januszkiewicz, A. Hrabiec, E. Cichy-Pazder. – Kraków: Politechnika Krakowska, 2005. – С. 165.
4. Манкевич, С. В. Вопросы взаимосвязи архитектурной формы мостов с материалами и конструкциями / С. В. Манкевич // Арх. тетради. – Вып. 2. – Минск, 2006.

применяется для построек в настоящее время или применение данного материала выступало в единичных случаях и не является характерным для данной конструктивной схемы.

Используемые материалы собраны в группы, которые могут дать обобщенное представление об их характере. В действительности их состав используемых материалов обширнее и разнообразнее. Выбор материалов, указанных в таблице, осуществлялся согласно критериям преимущественного использования данного материала при строительстве мостов. Практика современного мостостроения показывает, что редко используется только один материал. Развитие новых технологий приносит все новые материалы (полимеры, упрочненные волокнами, алюминий, композитные материалы, эластомеры и др.). Принятый состав материалов довольно полно характеризует современную ситуацию в мостостроении. Наиболее редким материалом, в настоящее время используемым в конструкциях мостов, является камень. Хотя в прошлом материал был очень часто применяемым, в нынешнее время используется довольно редко. В свою очередь, наиболее распространенным материалом является сталь в сочетании с другими материалами (камнем, деревом, бетоном, железобетоном). Сочетание стали и железобетона принято как отдельная группа материалов. В конструкциях такого типа материалы используются для строительства моста по законам логики данной конструктивной схемы, и, одновременно, визуально выделяются как отдельные материалы. Широкое использование стали в мостовых конструкциях является следствием конструктивных свойств этого материала (обладает похожими параметрами прочности на сжатие и растяжение). Бетон и железобетон из-за своих конструктивных ограничений (низкая прочность на растяжение) используется только для определенных типов конструктивных схем. Дерево еще недавно считалось архаичным материалом. В нынешнее время для этого материала характерно своего типа «возрождение» в виде клееных деревянных конструкций. Поэтому этот материал все чаще выступает в современных мостовых сооружениях.

Разные конструктивные приемы в сочетании с разными материалами в архитектуре мостовых сооружений характерны для разных стран, климатических и топологических условий.

чего появились новые типы смешанных конструктивных схем: *е.* арочный ферменный мост; *ж.* арочный подвесной мост; *и.* висячий ферменный мост; *к.* вантовый ферменный мост; *л.* арочный ферменный вантовый мост.

Представленная типология свидетельствует о достаточно большом наборе разных типов мостов. Разнообразие материалов, используемых в конструкции мостов, дополнительно расширяет сложившуюся типологию, поскольку разные материалы, применяемые при одной и той же конструктивной схеме, приводят к появлению новых типов объектов, повышают их художественную выразительность. Использование материалов в сочетании с разными конструктивными решениями мостов показано в таб. 1.

Таблица 1. Взаимосвязь материалов и конструктивных решений мостов

	Использованные материалы				
	Камень	Дерево+ др. мат.	Сталь+ др. мат.	Бетон+ ж/б	Сталь+ ж/б
Балочный	*	■	■	■	■
Арочный	■	■	■	■	■
Ферменный		■	■	*	■
Висячий		*	■	*	■
Вантовый		*	■	■	■
Арочный ферменный		■	■		■
Арочный вантовый		■	■	■	■
Висячий ферменный			■		■
Вантовый ферменный			■		■
Арочный ферменный вантовый			■		■

Условные обозначения таблиц 1-2: ■ - использование данного материала в данном типе конструкций; * - данный материал использовался в мостостроении в истории, но не

сечения. Признаком, позволяющим объединить упомянутые конструкции в одном классификационном типе, является визуальная схожесть боковых видов мостов. Балочные (панельные) мосты характеризуются линейностью, простой горизонтальной формой. Поэтому современные конструкции коробчатого сечения изменяющейся высоты, находясь в группе балочных мостов, на основе принятой классификации должны быть причислены к группе арочных мостов (имея в виду боковые виды таких объектов).

Группа арочных мостов достаточно разнообразна благодаря многообразию форм арок. Существенным признаком, влияющим на визуальное восприятие арочных мостов, является (кроме разных видов арок) расположение проезжей части моста относительно главных арочных балок, что дает три типа ситуаций: а) проезжая часть находится над аркой, б) проезжая часть находится под аркой, в) проезжая часть находится в середине арочных балок.

В ферменных мостах главным конструктивным элементом являются фермы – тип прогонов, образованный из меньших сжимаемых или растягиваемых брусевых элементов. Формы ферм могут быть разнообразными, но, благодаря схожести своих визуальных характеристик, ферменные мосты являются группой с довольно ярко выраженным своеобразием.

Висячие мосты – грандиозные объекты, пролеты которых подвешены при помощи вертикальных элементов (тросов) к главным, несущим вантам (или цепям), прикрепленным к верхушкам пилонов, высота которых значительно превышает ширину проезжей части моста.

В отличие от висячих, вантовые мосты характеризуются тем, что пролеты подвешены к пилонам непосредственно при помощи тросов.

Представленные типы конструктивных схем касаются решений пролетов моста. Нередко, когда многопролетный мост имеет большую протяженность, его пролеты имеют разные конструктивные решения. Например, мост состоит из балочных пролетов одинаковой (или приближенной) длины и самого длинного пролета арочной, висячей или вантовой конструкции.

Эволюция развития мостостроения показывает, что основные конструктивные схемы трансформировались, в итоге

УДК 711.454

**Влияние конструктивных схем на формообразование моста
(польский опыт)**

Лапко А. А.

Политехника Белостокска, БНТУ

В статье рассматриваются особенности загородных мостов северо-восточного региона Польши, анализируется сложившаяся типология мостов на основании существующих конструктивных схем. Прослеживается влияние материалов на художественную выразительность мостовых сооружений в рамках различных типологических групп, специфика этого влияния для данного региона.

Введение

Типологические особенности мостовых сооружений могут быть рассмотрены с учетом признаков, влияющих на архитектурный образ моста. Важнейшим признаком является конструктивная система, поскольку в отличие от большинства других архитектурных объектов, она открытая и видимая.

Основная часть

Как показывает история мостостроения и современный опыт, архитектурная типология мостов включает следующие основные типы: а. балочные, б. арочные, в. на основе ферм (ферменные), г. висячие, д. вантовые мосты.

Представленная классификация основных типов мостов является условной и в некоторой мере упрощенной, потому что в каждой группе можно найти довольно большой диапазон своеобразных конструктивных решений (за основу принята классификация А. Мадея и В. Воловицкого [1]). Балочные мосты строились уже в древние времена. Балки, первоначально в виде деревянных бревен, проложенных рядом, служили конструктивной основой простого моста. В этом случае, несущее устройство – это упругие горизонтальные конструктивные элементы продольной формы, воспринимающие поперечную нагрузку. В итоге развития балочных мостов появились разные конструктивные типы, которые, исходя из простой схемы, дают своеобразные формы. Примерами являются конструкции панельные и коробчатого

Дистанционный лазерный измеритель (иначе – дальномер, лазерная рулетка) позволяет бесконтактно мерить расстояние от основания до точки попадания луча. Прибор замеряет разницу между прямым и отраженным сигналом. Точность – ± 3 мм, дальность – 100–150 м, с использованием светоотражающей пластины – 200 м, скорость измерения у разных производителей от 0,5 до нескольких секунд. Результаты замеров можно заносить в память прибора и, используя встроенный калькулятор, определять периметр здания, рассчитывать площадь, объем, высоту.

В соответствии с вышеуказанными техническими возможностями применение лазерных технологий в обмерных работах имеет ряд преимуществ: возможность работы с труднодоступными и опасными объектами, в том числе из-за возможности обрушения ветхих конструкций; участие в замерах одного человека; высокая производительность, позволяющая получать десятки замеров в течение одного рабочего дня; высокая точность полученных данных. Полученные при обмерных работах данные проходят обработку с помощью самых современных компьютерных программ и превращаются в необходимую заказчику документацию для проведения реконструкции и реставрации.

Литература

1. Бугаева, Н. И. Архитектурные обмеры и особенности их графической основы / Н. И. Бугаева. – Екатеринбург: Архитектон, 2004. – 146 с.
2. Геодезические технологии архитектурных обмеров и определения геометрических параметров зданий [Электрон. ресурс] / НПП «Фотограмметрия», 2006. – Режим доступа: http://www.photogrammetria.ru/services/services_b.html. – Дата доступа: 09.06.2007.
3. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Ю. Б. Баранов [и др.]. – Москва: ГИС-Ассоциация, 1999 [Электронный ресурс] / Словарь по геоинформатике, 2002–2007. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/geoinfoslovar.html>. – Дата доступа: 09.06.2007.
4. Левенко, А. Под лазерным прицелом. Лазерный измерительный инструмент / А. Левенко // Элит дом. Коттедж от фундамента до интерьера. – 2003. – № 7(26). – С. 53–56.

пузырьковым уровнем, при попадании луча на которые загораются светодиоды, подаются звуковые сигналы.

Автоматический лазерный нивелир (иначе – лазерная плоскость, ротационный лазер) отличается автоматическим способом настройки и точностью (± 1 мм на 10 м). В приборе автоматически (за 3–5 секунд) устанавливается уровень в горизонтальной и вертикальной плоскостях и автоматически призмой компенсируется отклонение нивелира от линии горизонта на 8–9°. При отключении функции автоматической установки возможна установка большего наклона. Призма автоматического нивелира, при вращении формирует плоскость или линию. Дальность измерения прибором с применением детектора 100 м, в некоторых моделях до 150–200 м. Диапазон температур – от -20 до +50 °С. Прибор может управляться дистанционно.

Разработаны и *многолучевые лазерные нивелиры*, направляющие три и пять лучей. В трехлучевых нивелирах в одном варианте лучи могут быть направлены по горизонтали, вертикали и вбок (под углом 90° к остальным), в другом – два луча по вертикали (через центр призмы, т.е. фактически создается «сквозная» вертикаль), третий по горизонтали (под углом 90° к остальным). Пятилучевые нивелиры имеют «сквозную» вертикаль (два луча) и «сквозную» горизонталь (два луча), горизонтальный луч (под углом 90° к остальным), что позволяет быстро выполнять 90-градусную разбивку площадей и контролировать геометрию уже построенного объекта любой сложности. Дальность измерений пятилучевого лазерного нивелира до 50–80 м в зависимости от условий освещения, точность – обычно ± 1 мм на 10 м, автоматическая установка уровня – с отклонением в 9°.

Кросслайнер относится к особому типу измерительных приборов. Прибор автоматически устанавливает в пространстве две плоскости – горизонтальную и вертикальную, в проекции – это две линии, пересекающиеся под углом 90°. Прибор удобен при соотношении элементов по горизонтали и вертикали. Дальность измерений прибора – 10–20 м, точность – ± 3 мм на 10 м по горизонтали, ± 4 мм на 10 м по вертикали, автоматическая установка уровня – в пределах $\pm 4^\circ$.

Прежде всего – это *лазерный уровень*. Как правило, так называют пузырьковый уровень, но со встроенным светодиодом в торце прибора. Бывают одно- и двухлучевые лазерные уровни, в последнем два луча находятся под углом 90° друг к другу. Дальность работы таких приборов при хорошем освещении 20–30 м, точность обычно ± 3 мм на 10 м. Инструмент используется при горизонтальных замерах. Приборы такого типа могут иметь жестко закрепленный в корпусе однолучевой светодиод и автоматическую нивелировку, что приводит к минимуму ошибок при измерении и быстрой переустановке.

Ручные, полуавтоматические и автоматические лазерные нивелиры можно определить в одну группу. У этих приборов светодиод жестко закреплен в корпусе и идеально отъюстирован (выверен) относительно его основания, что делает его точнее, чем лазерный уровень.

Ручной лазерный нивелир настраивается вручную с помощью пузырькового уровня, установленного соосно к лазерному диоду. Дальность измерения прибором 20–30 м. Для улучшения видимости используют специальные красные очки со светофильтрами, повышающие контрастность луча и специальные светоотражающие пластины, усиливающие сигнал. Однако использование светоотражающих пластин сопряжено с привлечением к работам еще одного человека. Используется для определения перепада высот, продления линии. Вращение на нивелировочной тарелке позволяет сканировать (проводить) горизонтальные линии. Это особенно ценно при обмерах строений с утраченными фрагментами. В комплект к прибору идет призма, отклоняющая луч на 90° , которую можно вращать и проводить разметку по вертикали. Бывают двухлучевые призмы, где один луч направлен прямо, а второй – перпендикулярно ему вверх или вбок, что позволяет задавать угол 90° .

Полуавтоматический лазерный нивелир (иначе – лазерная плоскость, ротационный лазер), отличается от ручного наличием вращающейся призмы, направляющей один или два луча (вверх и вбок). При круговом вращении призмы образуется видимая плоскость, а при сканировании сектора – видимая прямая линия. При замерах на большие расстояния (до 100 м) используются специальные детекторы со встроенным

Колосовская А.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время широко востребованы фасадные чертежи, а лучше 3D модели зданий целиком, необходимые для реконструкции и реставрации. Для выполнения восстановительных работ необходимо сделать фиксацию современного состояния объекта архитектуры – провести обмерные работы. Сегодня трудоемкую задачу обмера зданий, требующую много времени и затрат, может значительно упростить применение лазерного оборудования. При проведении обмерных работ на смену оптическому нивелиру, пузырьковому или водяному уровню, отвесу и рулетке основными измерительными приборами становятся инструменты нового поколения – лазерные: *кросслайнер, дальномер, лазерные уровень и нивелир.*

Многие исторические объекты, памятники архитектуры находятся в неудовлетворительном состоянии. Они сильно повреждены, полуразрушены или претерпели ряд перестроек и наслоений. Проведение обмерных работ на таких объектах вызывает ряд сложностей. Кроме того, современные ускоренные темпы восстановительных и реставрационных работ, новые требования к качеству проектной документации, сжатые сроки предпроектных исследований выявили недостатки традиционных измерительных инструментов. Среди них: большой расход времени при тщательной установке инструментов, снижение точности измерений при быстром темпе работ, большая зависимость качества работ от квалификации исполнителя и, как правило, участие в замерах двух человек. Изобретение лазерных диодов и использование луча видимого глазу и безопасного для человека (мощность – 1-2 милливатта), способствовало решению ряда перечисленных выше проблем, связанных с традиционными измерительными инструментами.

Следует выделить несколько типов приборов нового поколения.

включить анализ объемно-планировочных решений автостоянок. Уже только то, что разные зоны городов характеризуются различной плотностью застройки, доказывает необходимость выработки совместных, архитектурно – планировочных, вариантов решений в различных ситуациях.

Обзор всего вышеперечисленного в непосредственной совокупности, с учетом многокритериального анализа, даст возможность получить серию наиболее подходящих вариантов автостоянок различных типологических решений, с привязкой к определенным градостроительным ситуациям.

Система сооружений для паркирования должна являться составной частью общегородской транспортной системы, координирующей в соответствии с современными градостроительными требованиями работу различных видов транспорта – городского и пригородного, рельсового и безрельсового, массового и индивидуального.

В системе должны быть задействованы различные способы хранения индивидуального автотранспорта, основанные на развращенной типологии их объема – планировочных решений. В результате совместного анализа градостроительных и объемно – планировочных решений, необходимо создание сводной, архитектурно-планировочной типологии и методики выбора проектных решений в каждом конкретном случае.

Литература

1. Семенова, О. С. Формирование системы хранения индивидуального автотранспорта в микрорайонах крупных городов на примере Москвы: дис. ... канд. техн. наук / О. С. Семенова. – М, 2004 г.
2. Боровик, Е. Н. Принципы и системы размещения автомобильных стоянок в больших городах / Е. Н. Боровик. – ГОСИНТИ, ПБГ. – № 4–76, 1976 г.
3. Концепция развития автостоянок и парковок в г. Минске на 2004-2006 годы.
4. Голубев, Г. Е. Автомобильные стоянки и гаражи в застройке городов / Г. Е. Голубев. – М.: Стройиздат, 1988 г.

на тротуарах, во дворах жилых домов, а также в многоэтажных паркингах (центральная часть города Минска).

За 20 лет, с 1985 года, количество автомобилей индивидуальных владельцев в Беларуси выросло более чем в 8 раз [4], и на сегодняшний день прослеживается стабильная тенденция роста автомобильного парка от 4 до 13% в год. Количество личного автотранспорта сегодня в два раза превышает число мест, специально оборудованных для стоянки и хранения транспортных средств.

Динамика развития индивидуального легкового автомобильного транспорта в городах Беларуси примерно одинакова, как и уровень автомобилизации населения. В центральных, наиболее плотно застроенных зонах городов, практически нет свободных от застройки территорий, для размещения крупных наземных транспортных сооружений.

Исторически развиваясь в одинаковых социально-экономических условиях, города республики сегодня имеют не только схожие радиально-кольцевые структуры, схожее размещение мест хранения автотранспорта в планах, но и сильно возросшее количество автомобилей, требующее решений по размещению их мест хранения.

Можно заключить, что анализируемые города «похожи», это дает возможность разработать общую методику оценки и организации мест размещения и хранения автотранспорта.

При создании концептуальной схемы размещения мест хранения автотранспорта, следует учитывать два уровня градостроительной организации жизненного пространства: макроуровень, рассматривающий город и его окрестности в целом, учитывая зональное деление (центральная, переходная, периферийная, пригородная зоны), и микроуровень, включающий в себя отдельные районы, микрорайоны и кварталы. Такая система, оцененная на различных градостроительных уровнях, с соблюдением оптимальных условий доступности и санитарно-гигиенических норм, должна обеспечивать высокие функциональные качества сети транспортных средств, удобство пользования и максимальную экономию городских территорий.

Кроме градостроительного аспекта, в исследование организации мест хранения автотранспорта, необходимо

специалисты. Однако вопрос организации парковки легковых автомобилей в масштабе города в целом все же изучен недостаточно.

Специальная литература по развитию систем автостоянок и гаражей легковых автомобилей, в основном, была написана в 1960г., что не способствует ее эффективному использованию в силу давности написания, изменившихся социально-экономических условий жизни общества, сильно возросшему уровню автомобилизации и уже сложившейся градостроительной ситуации в городах.

Для разработки единой системы мест хранения автотранспорта в городах Беларуси, были проанализированы уже сложившиеся градостроительные ситуации в крупных городах республики (Минск, Могилев, Витебск, Гродно, Брест, Гомель). В процессе анализа учитывалось, что каждому индивидуальному автомобилю необходимо два вида стоянок – постоянное (ночное), у пунктов отправления, у мест постоянного жительства автовладельцев и временное - в различных зонах города, у всех пунктов его временного пребывания.

В градостроительной науке существует четыре основных принципа размещения автостоянок в планах городов: локальное (в непосредственной близости от обслуживаемых объектов), центральное (крупные автостоянки в центре городов), разгрузка центра (вокруг центра, вокруг зоны тяготения, радиальное, периферийное), комбинированное (одновременное применение нескольких принципов) [2].

Использование картографического анализа генеральных планов городов республики позволило определить, что существующая схема размещения автостоянок во всех городах комбинированная. Для постоянного хранения автотранспорта в основном используются гаражи боксового типа, размещенные массивами в периферийных зонах: в Минске это 60% всех мест хранения, в Могилеве, Витебске, Гродно, Бресте, Гомеле –75-90%, а также открытые охраняемые автостоянки (в Минске 37%, в городах республики – 10-25%) [3]. Временное хранение автотранспорта, в большинстве случаев, осуществляется на открытых (приобъектных) стоянках, на проезжих частях улиц,

УДК 711.553.2

**Градостроительные аспекты организации мест хранения
автотранспорта в крупных городах Республики Беларусь**

Демьянович Н. С.

Белорусский национальный технический университет

Стремительно растущий с каждым годом в нашей стране уровень автомобилизации диктует настоятельную необходимость принятия проектных и правовых решений по организации мест хранения автотранспорта в городах, планировочная организация которых складывалась на протяжении длительного времени, и на сегодняшний день уже не в состоянии решить возникающие в этом плане проблемы.

В последние годы для крупных и крупнейших городов экономически развитых стран актуальной является проблема обеспечения стоянками все увеличивающееся количество автомобилей. Быстрый рост индивидуального автомобильного транспорта прослеживается и в Республике Беларусь, затрагивая многие сферы развития городов в целом, и порождая большое число взаимосвязанных между собой архитектурно-планировочных, социальных, технико-экономических, экологических, санитарно-гигиенических и других вопросов.

Отправным рубежом возникновения проблемы хранения личного автотранспорта в нашей стране можно считать 1960-е годы, когда личный автомобиль был у 3-5% населения [1], а общественный транспорт являлся основным средством связи. В советские годы, в социально-экономических условиях тех лет, города Беларуси развивались в соответствии с генеральными планами, улично-дорожная сеть которых не была рассчитана на сегодняшний, сильно возросший уровень автомобилизации. Проблем организации мест хранения автотранспорта в те годы практически не возникало - население само занималось строительством гаражных кооперативов. С течением времени, развитием и застройкой городов, уровень автомобилизации долгое время практически не менялся, созданием комплексной системы парковок легковых автомобилей просто не занимались, в силу неактуальности проблемы.

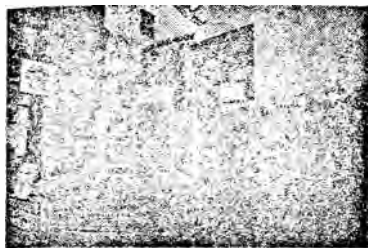
Над решением проблем организации транспортной инфраструктуры в градостроительной науке работали многие

Первый путь – присоединение дополнительных объёмов существующих окружающих зданий и вынесение складов с использованием их площадей для расширения торговой площади.

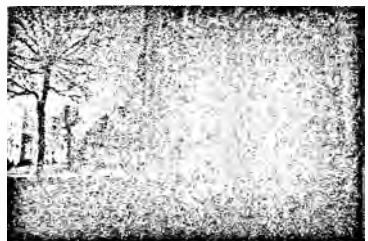
Второй путь – пристройка новых объёмов либо за счёт нерационально используемых соседних территорий либо, в случае необходимости, сноса малоценной застройки.

Основная задача в этом случае – сохранение исторического облика здания и деликатная стилизация новых объёмов. Однако и в этих случаях возникает довольно сложная задача – обязательное внесение современной технологии обслуживания посетителей и торговли.

В-пятых. Отдельная проблема – адаптация чуждых по архитектуре, выбивающихся из общей ткани застройки, зданий, построенных во времена ликвидации «архитектурных излишеств». В зависимости от особенностей каждого такого здания необходимо искать индивидуальное решение.



Пример не совсем корректного уплотнения исторической застройки. Такой образ резко контрастирует с окружающей архитектурой.



Пример удачного сочетания стиля входной группы в предприятие торговли и образа здания. Такое решение деликатно подчёркивает историческое звучание застройки

предпринять, чтобы оно было максимально рентабельным, сохраняя при этом историческое звучание.

Во-первых, встроенные предприятия обслуживания населения, в которых невозможно увеличить его объём. В этом случае реновация сводится к реконструкции интерьеров, в которых желательно ввести элементы исторической архитектуры и даже торговой технологии. Однако элементы механизации трудоёмких работ и современного комфорта должны при этом обязательно присутствовать.

Во-вторых, встроенные в исторические здания предприятия торговли, где возможно за счёт присоединения к ним соседних помещений произвести улучшение технологических и санитарно-гигиенических условий. При этом остаются актуальными архитектурно-эстетические требования

В-третьих. Наибольшие возможности для модернизации объектов обслуживания возникают в том случае, когда имеется возможность пристройки новых объёмов к зданию, которые не нарушают сложившегося образа здания.

В первую очередь, как показывает имеющаяся практика, это пристройка торговых залов со стороны дворовых фасадов, сложившихся торговых предприятий. Это даёт возможность, наряду с сохранением существующего исторического интерьера добавить объём с современной технологией и удобствами, кардинально решить вопросы организации погрузочно-разгрузочных и других трудоёмких работ.

Реновацию предприятий торговли, встроенных в здания второй половины XX в., возможно производить, пристраивая дополнительные объёмы перед строением, корректируя тем самым фасад, диссонирующий с окружающей застройкой, одновременно создавая дополнительные торговые площади, так необходимые в центре города.

В-четвёртых. Предприятия торгово-бытового обслуживания в отдельно стоящих исторических зданиях.

В первую очередь проблема касается крупных на определённое историческое время универсальных магазинов, которые сегодня утратили своё значение как центральные предприятия торговли в силу того, что они были созданы для определённых условий. В этом случае необходимо изыскивать возможности радикального расширения торговых площадей.

культурную и историческую ценность города, сделать её более очевидной. При этом кроме принципов реконструкции, изложенных мною ранее, необходимо найти приёмы и средства для внесения в диссонирующую застройку элементов, которые могли бы ввести в это инородное образование образные ассоциации с исторической застройкой.

Параллельно с регенерацией исторической ткани важно проводить реновацию и увеличивать объём сети предприятий торгово-бытового обслуживания. Экономическая целесообразность таких мероприятий очевидна.

Для предпринимателей, конечно, работы так называемого нулевого цикла будут значительно дороже, чем в периферийных районах. Но. В то же время, предприятия торгово-бытового обслуживания в историческом центре города значительно быстрее окупаются за счёт развитости инфраструктуры и наплыва туристов.

С другой стороны, для города это важно и выгодно, потому что появляется возможность «навязать» те эстетические решения, которые соответствуют целостности архитектурной концепции (если она есть).

Для жителей близлежащих домов, несмотря на некоторые неудобства, связанные с технологическим процессом предприятий торговли, также есть определённые преимущества. Как правило, такие предприятия имеют значительную охрану, что поднимает уровень безопасности не только самого предприятия, но и прилегающих зданий.

В предприятиях торговли значимую, а иногда и основополагающую роль играет технологический процесс. Но, часто в таких объектах невозможно применить технические новшества, необходимые для успешного функционирования, не нарушив идеи автора здания. Например, набившие уже оскомину, кондиционеры. Поэтому, в историческом центре города важно найти компромисс между архитектурным образом и технологией, сохраняя при этом сложившуюся веками ткань города.

Исходя из этого, хотелось бы разделить предприятия торгово-бытового обслуживания, расположенные в исторической части по тем мерам, которые необходимо

**Экономика и эстетика в реконструкции
исторических городов**

Волович О. А.

Белорусский национальный технический университет

Рост численности населения в Могилёве, а также прогнозируемое увеличение количества туристов в связи с регенерацией исторической части города обуславливают преобразования фонда торгово-бытового обслуживания.

Необходимость увеличения объёма таких предприятий очевидна, хотя бы для того, чтобы сохранить 0,3 м² торговой площади на каждого горожанина или гостя города. Но самое важное – адаптировать их фасады и, по возможности, интерьеры к исторической застройке Могилёва.

Исторического центр города формируется улицами Первомайская, Пионерская, Ленинская, Челюскинцев, Лазаренко, К. Маркса, Болдина, Комсомольская, К. Либнехта, Лепешинского, Карпинского, Мигая и переулками Коммунистический, Коммисариатский, Крутой. На существующую планировочную структуру основополагающее влияние оказал сложный рельеф, поэтому на протяжении многих лет она не подвергалась значительным изменениям.

Особенностью исторического центра Могилёва является то, что после прокладки проспекта Мира в начале XX в. он полностью теряет административную и деловую функции. Поэтому в проекте регенерации предложено подчеркнуть культурную сторону ядра города, сделав его тем самым более привлекательным для туристов.

Ещё одной особенностью является то, что некоторые постройки 2 половины XX в. резко контрастирует не только с исторической архитектурой, но и с застройкой 50-ых годов XX в. Здания по ул. Первомайская 16, 31, 31а и др. разрушают целостность веками сложившейся городской ткани.

Таким образом, историческое ядро города частично утерло аромат времени и сейчас представляет собой пёструю смесь зданий различных направлений и стилей.

В таких условиях при реконструкции, реновации, реставрации зданий очень важно, на мой взгляд, подчеркнуть

На предприятиях металлообработки самыми крупными помещениями являлись литейное с центральным или мостовым краном и слесарное со станками. Применялась конструктивная система со стеновым или каркасно-стеновым несущим остовом, высота производственных помещений до низа стропильных конструкций колебалась от 4 до 5 метров. Некоторые производственные корпуса решены в виде трехнефной базилики с мостовым краном (Кошарский завод) [3].

Здания лесопильных заводов строились одноэтажными и имели два объема: деревянный каркасный производственный корпус и кирпичное строение для парового двигателя. Уровень пола производственного цеха поднимался до 2,86 метра (1 1/3 саж) из-за необходимости установки тяжелых станков на специальном основании в подпольном пространстве, внутри вели длинные пандусы с ограждением.

В строительстве объектов железной дороги наиболее характерными для Беларуси были веерные депо с поворотным кругом и многопролетные ремонтные мастерские. Здесь использовались металлические стропильные конструкции, мостовые краны, впервые стали применяться плоские часторебристые покрытия с продольным расположением главных балок и поперечным – световых фонарей. Таково, например, паровозное здание на ст. Минск, построенное в 1908–1909 гг. [4]

Государственное строительство производственных построек военного ведомства на западных рубежах страны конца XIX – начала XX века было связано с возведением совершенно новых объектов и инженерных сооружений: ангаров, эллингов для дирижаблей, складов новых систем, что привело к широкому применению каркасных конструкций, металлических ферм и рам, монолитных бетонных сводчатых конструкций.

Литература

1. РГВИА, ф. 349, оп. 3, ед. хран. 5915.
2. РГВИА, ф. 349, оп. 3, ед. хран. 5967, 6045.
3. НИАБ РБ, ф. 299, оп.5, ед. хран 1795.
4. Очерки истории строительной техники России XIX – начала XX веков. – М., 1964. – С. 352

Для винокуренных предприятий выявлено две схемы: деревянное двухэтажное здание с вытянутым прямоугольным планом и двускатной крышей и каменное здание, объемная композиция которого состояла из двух-трехэтажного доминирующего вертикального объема, к которому примыкали одно-двухэтажные протяженные постройки с планом Т-образной формы.

Существовали две разновидности решения пивоваренных заводов. Первая – корпус завода, в который входили все производственные и вспомогательные помещения, представлял собой одно-, реже двухэтажную вытянутую прямоугольную в плане постройку из дерева срубной или каркасной конструкции. Вторая – кирпичное здание из нескольких разноэтажных объемов с вертикальным акцентом в виде многоуровневого заторного отделения.

Конструктивная система кирпичных зданий картонно-бумажных, обойных фабрик, винокуренных, пивоваренных, дрожжевых заводов выполнялась как каркасно-стендовая с кирпичными или чугунными внутренними опорами, подвальная часть сильно заглублялась. В конструкциях перекрытия использовались кирпичные арки по рельсам с опиранием на металлические колонны разного сечения.

Производства с технологической схемой в одном уровне – стекольные, металлообрабатывающие, лесопильные, – имели от 2 до 7 объемов, т.к. структура предприятия усложнялась за счет размещения разных производственных процессов в отдельном объеме.

Основные процессы стекольного предприятия размещались в одноэтажном производственный корпус с печами для плавки, в плане прямоугольном или восьмиугольном площадью от 800 до 1400 кв.м. Его высота изменялась от 3-4 метров у наружных ограждающих конструкций до пятнадцати метров в центре, где над печами плавки возводилась надстройка со световыми проемами. Конструктивной системой корпуса была сложная деревянная каркасная структура со множеством промежуточных опор и подкосов, которая поддерживала центральный разновысотный объем. Вспомогательные производственные помещения либо пристраивались к основному зданию, либо группировались в отдельный блок.

Склады пороха представляли собой каменные постройки, основу которых составлял кирпичный цилиндрический свод (ширина арки до 1,25 м), покоящийся на толстых стенах и мощном фундаменте [1].

Архитектура рядовых заводских построек была проста и определялась исключительно утилитарными требованиями.

На кирпичном заводе при Бобруйской крепости печь для обжига кирпича находилась в центре прямоугольного в плане сооружения, окруженного низким деревянным навесом, в кровле над печью возмещался аэрационный фонарь [2].

Усовершенствование оборудования и ввод паровых двигателей трансформировали пространственное строение заводов: вычленились помещения для отдельных технологических процессов и для паровой машины, складывалась ярусная организация технологии, стали строиться двух– четырехэтажные здания с каменным первым этажом для размещения паровой машины – винокуренные и сахарные заводы.

В строительстве объектов производства до середины XIX в. в основном применялись две конструктивные системы: срубная из бревен или брусьев и сводчато-стенная с использованием «дикого» камня, позднее кирпича и металлических деталей. Постепенно увеличивалось капитальное строительство из кирпича и камня, что было вызвано угрозой возгорания.

С распространением паровых двигателей и сменой социально-экономических условий с 1870-х годов в архитектуре построек производственного назначения происходит сначала количественный, а затем и качественный скачок, отразившийся на утилитарных характеристиках зданий: функциональной планировке и конструктивном решении.

Среди множества отраслей производства, получивших распространение на Беларуси в конце XIX в., можно выделить те, постройки которых отличаются от производственных зданий других отраслей. В первую очередь это винокурение и пивоварение, деревообработка, стекольное и кирпичное производства, а также металлообработка и постройки железнодорожного хозяйства.

В результате были выявлены наиболее распространенные объемно-планировочные схемы промышленных корпусов.

Архитектура

УДК 725.4.03(476)

**Объемно-планировочные и конструктивные решения
построек производственного назначения в Беларуси
конца XVIII – начала XX века**

Залесская Г. Л.

Белорусский национальный технический университет

Постройки производственного назначения в конце XVIII в. начали формировать новую отрасль в отечественном зодчестве. Их объемно-планировочные характеристики и конструктивные решения отражали уровень развития техники строительства и технологии производства и их функционально-технологическая составляющая с ходом времени стала играть большую роль во внешнем облике зданий и сооружений.

Для процессов производства создавались новые материально-пространственные условия: увеличивались высота помещений, их освещенность, прочностные характеристики построек, а главное – изменялся масштаб, соразмерный более машине, а не человеку. Пристальное внимание к функциональным качествам архитектуры, к конструктивным и техническим новшествам сопрягалось с поисками оптимальных объемно-планировочных решений, приспособленных к новым требованиям.

С конца XVIII в. увеличивалось различие в объемно-планировочной структуре и архитектуре зданий разных функциональных групп (склады, кузницы, мельницы, стекольные гуты, литейные, винокуренные и сахарные заводы).

Так, в постройках чугунолитейного завода в имении графа Хрептовича функционально-технологическая определенность объемно-пространственного решения выражена в контрасте двух высоких объемов литейных участков и вытянутых построек сопутствующих процессов. Кладка стен башен из камней на извести с битым камнем, конструкция стен одноэтажных построек трехслойная с засыпкой золой между каменными стенами.

Учитывая тот факт, что протяженность только республиканских дорог составляет 15,4 тыс. км, площадь дорожных покрытий 25 млн. м² данная задача требует привлечения серьезных программных средств для ее решения.

Рассмотрим вопрос оптимизации использования противогололедных материалов.

За три зимних периода 2003-2006 гг. среднее количество распределений противогололедных материалов составило от 66 до 112 раз при количестве выпадения осадков и переходов температуры воздуха через 0 °С от 88 до 126. Расход противогололедных материалов составил от 500 до 767 тыс.т. при этом израсходовано соли в чистом виде от 24 до 45 тыс.т и для приготовления песко-соляной смеси от 153 до 192 тыс.т.

В разрезе автодорог фактический расход соли (кг/м³) составил по РУП «Минскавтодор-Центр» - 4,6; РУП «Белавтострада» - 2,7; РУП «Бреставтодор» - 2,4; РУП «Витебскавтодор» – 2,5; по РУП «Гомельавтодор» и РУП «Могилевавтодор» – 1,4; по РУП «Гродноавтодор» – 1,9. С учетом ограничений расхода соли 2,0 кг/м² перерасход соли составил 10520 т или превысил на 4%. Поэтому в перспективе увеличение количества соли не предусматривается и должно соответствовать достигнутому уровню – около 200 тыс.т. Расчеты по оптимизации расхода противогололедных материалов показали, что использование чистой технической соли необходимо увеличить за ближайшие 10 лет с 34 тыс.т (2006 г) до 123 тыс.т (2016 г.), а расход песка для приготовления песко-соляной смеси уменьшить с 628 до 200 тыс.т или в 3 раза (за счет применения 123 тыс.т чистой соли и более концентрированной смеси ПСС от 1:2,6 (2007 г.) до 1:1,5 (2016 г.). Общий расход противогололедных материалов планируется сократить от 662 тыс.т до 325 тыс.т за счет применения в 60% случаев посыпок чистой солью, в 30% - песко-соляной смесью и 10% - песком с содержанием соли 5%.

Литература

1. РД 0219.1.18-2000 «Зимнее содержание автомобильных дорог общего пользования».

- обеспечение нормальных условий движения в сложных погодных условиях.

- постановка приборного учета и контроля выполняемых работ по объему и соблюдению директивных сроков установленных действующему ТНПА.

Схема автоматизированной системы управления приведена на рисунке 1.



Рисунок 1.Схема автоматизированной системы управления

**Оптимизация применения противогололедных материалов
на автомобильных дорогах общего пользования**

Вольский Е. В. Бусел А. В.

Белорусский национальный технический университет

На зимнее содержание автомобильных дорог общего пользования расходуется около 50% финансовых средств, выделяемых на круглогодичное содержание дорог. Поэтому их рациональное использование является актуальной задачей отрасли.

Продолжительность зимнего периода, а также интенсивность снежных заносов и образования зимней скользкости на автомобильных дорогах зависят от многих природно-климатических факторов (наличия снежного покрова, продолжительности и направления ветра со скоростью более 5 м/с, интенсивности и частоты выпадения осадков, переходов температуры через 0 °С, рельефа местности, высоты насыпи и т.д.) и могут отличаться в 2-3 раза от предыдущих зим. Поэтому объективная оценка зимнего содержания автомобильных дорог (или их участков) может быть дана только на основании многолетних наблюдений за работой дороги в зимний период. С этой целью разработан паспорт зимнего содержания автомобильных дорог, в котором в течение 10-летнего периода учитываются и анализируются данные как о погодных условиях, так и о своевременности, качестве, объеме и стоимости работ по ликвидации зимней скользкости и снежных заносов. На основании паспортных данных и данных метеопрогноза планируется осуществить оптимизацию мероприятий по зимнему содержанию дорог и разработать автоматизированную систему управления, в задачи которой входит:

- определение состояния и условий дорожного движения (температура воздуха, туман, снегопад, гололед, интенсивность движения и т.п.);
- разработка схем организации движения;
- обоснование необходимости и норм инженерного оборудования и обустройства дорог, устройства связи при зимнем содержании автомобильных дорог);
- разработка и внедрение новых современных методов управления дорожным движением;

Из анализа приведенных на рис. 2 данных видно, что применение добавок УНМ 1 и УНМ 3 в целом не оказывает существенного влияния на интенсификацию помола. На протяжении всего времени помола они показывали результаты либо меньшие либо сопоставимые с контрольными, за исключением точки 1,5ч, где отмечается рост удельной поверхности на 13,5% у обоих образцов с углеродными нанодобавками по сравнению с обычным песком. Однако после 1,5 ч отмечается спад удельной поверхности до контрольных значений и ниже.

В тоже время при применении добавки УНМ 2 наблюдается стабильный, хотя и не очень существенный, рост удельной поверхности, по сравнению с контрольными значениями, на протяжении всего времени помола. Максимальные прирост отмечается в 0,5ч (7,4%) и 1,5ч (7,7%).

Эти данные могут свидетельствовать о принципиальной возможности применения УНМ в качестве добавок интенсификации помола различных материалов.

Например, ускорение темпов помола в начальный период времени (0,5ч), что мы видим на примере добавки УНМ 2, можно будет использовать при помолу кремнеземного компонента в ячеистом бетоне.

Увеличение удельной поверхности в более длительный промежуток времени (1,5ч), при положительных дальнейших экспериментах, возможно, будет способствовать интенсификации помола цементного клинкера.

В заключение необходимо отметить, что исследования в данной области находятся еще в начальной стадии. И мы, и специалисты ИТМО находимся в поиске оптимальных способов получения УНМ и их разновидностей и дозировок. Для получения более объективных результатов необходимо провести дополнительные эксперименты по помолу, как с другими типами углеродных добавок, так и с материалами, такими как клинкер или отсеvy дробления гранитного щебня.

кацию помола, в частности песка. Для эксперимента были использованы 3 типа УНМ: №1 - не очищенный порошок с большого реактора, производительностью 100 гр/ч.; №2 - порошок с очисткой. После выделения УНМ содержит многостенные трубки, сажу, графит и небольшое количество металлов. Для удаления металла УНМ помещают в HCL, затем многократно промывают водой и высушивают. Для уменьшения количества аморфного углерода производят отжиг при 500 °С в течении 0,5ч.; №3 - не очищенный порошок с реактора, производительностью 10 гр/ч. Все они имели разный состав (разное количество трубок, графита и аморфного углерода). Дозировка УНМ составляла для всех 3 добавок – 0,5% от массы песка. В эксперименте использовался песок Заславльского карьера с модулем крупности -2,8. Помол осуществлялся в шаровой мельнице. Отбор проб и измерение удельной поверхности проводилось каждые 0,5 ч.

Измерение удельной поверхности проводилось на приборе для измерения удельной поверхности цемента и аналогичных порошкообразных материалов, тип Т-3 (время прососа воздуха через слой материала).

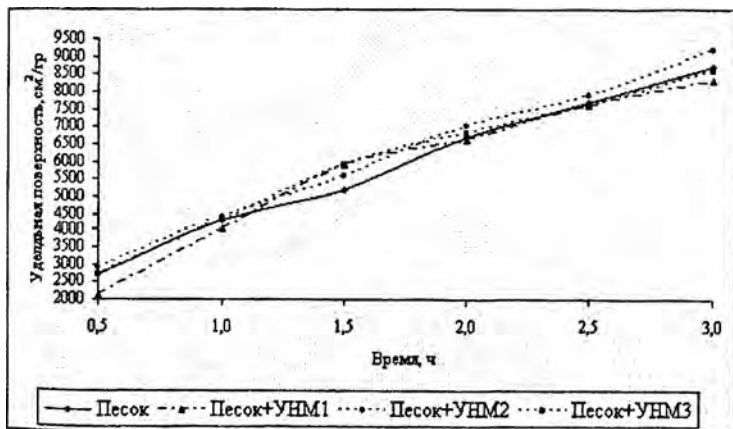


Рис.2.Изменение удельной поверхности песка при совместном помоле с нанодобавками



Рис. 1. Модели поперечных структур многослойных нанотрубок : а - "русская матрешка"; б - шестигранная призма; в - свиток

Для всех приведенных структур характерно значение расстояния м/д соседними графитными слоями всегда составляет 0,34 нм, что соответствует расстоянию м/д слоями в кристаллическом графите. Углеродные нанотрубки сочетают в себе свойства молекул и твердого тела и могут рассматриваться как промежуточное состояние вещества. Диапазон применения УНМ чрезвычайно широк. Это медицина, химическая промышленность и в наибольшей степени электроника. В последнее время УНМ стали применять и в строительной отрасли. В качестве добавок к пластмассам, резинам, стеклу, полиэтилену, краскам и т.д. Также есть перспектива применения УНМ и в различных видах бетонов. По результатам российских исследователей прочность пено- и газобетона увеличивалась в несколько раз. Однако не приводилось конкретных данных о применяемых материалах, составах бетона, условиях твердения, способов ввода добавок УНМ в бетон и т.п. поэтому проверить эти данные не представляется возможным. В настоящее время в лаборатории НИИЛ МБ СП совместно со специалистами ИТМО НАН РФ ведутся эксперименты о возможности и эффективности применения в бетоны добавок УНМ, с целью повышения их эксплуатационных свойств (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и т.д.).

Также рассматривается возможность применения углеродных нанодобавок для интенсификации помола различных материалов. В частности клинкера или песка (для производства поризованных легких бетонов) что позволит сократить время помола и снизить энергозатраты при производстве.

В лаборатории НИИЛ МБ СП были проведены эксперименты о возможном влиянии различных типов УНМ на интенсифи-

Графитные наноматериалы и процесс диспергации песка

Рябчиков П. В., Батыновский Э. И.

Белорусский национальный технический университет

Углеродные наноматериалы (УНМ) обладают целым рядом уникальных физических свойств и сегодня все активнее используются в мировой практике как добавки для создания новых композиционных материалов.

УНМ – углеродный наноматериал, представляющий собой каркасные структуры в виде трубочек диаметром 20-100 нм (10^{-9} м), состоящие из атомов углерода. История открытия углеродных нанотрубок в 1991г. тесно связана с историей открытия фуллеренов. Фуллерены — молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода другие — алмаз, карбин и графит) и представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из четного числа трехкоординированных атомов углерода. Фуллерены в значительном количестве содержатся в саже, образующейся в дуговом разряде на графитовых электродах. Было обнаружено, что в результате термического распыления графитного анода в электрической дуге, наряду с молекулами фуллеренов, образуются также протяженные структуры, представляющие собой свернутые в однослойную или многослойную трубку графитовые слои. Как показали наблюдения большинство трубок состоит из нескольких графитовых слоев, вложенных один в другой, либо навитых на общую ось. Однослойные нанотрубки - не образуют швов при сворачивании и заканчиваются полусферическими вершинами, содержащими, наряду с правильными шестиугольниками, также по шесть правильных пятиугольников. Многослойные трубки отличаются более широким разнообразием форм. Различают следующие виды нанотрубок: а) русская матрешка- совокупность вложенных друг в друга однослойных цилиндрических трубок; б) шестигранная призма; в) свиток.

Они представлены на рис.1.

Согласно имеющимся в технической литературе данным о действии долговременной нагрузки на бетон, заметные изменения в его структуре и несущей способности отсутствуют примерно до ее уровня: до 65 % от значения призмочной прочности бетона. Учитывая, что по данным О.Я. Берга $f_{c.np.} \sim 0,783 f_{c.cube}$ (кубиковая прочность бетона), то уровень безопасных для бетона напряжений будет примерно соответствовать: $0,65 \times 0,783 f_{c.cube} \sim 50\% f_{c.cube}$. В то же время нижняя граница трещинообразования по данным О.Я. Берга соответствует: $f_T^o \sim 0,46 f_{c.np.}$, или в пересчете на кубиковую прочность бетона: $0,45 \times 0,783 f_{c.cube} \approx 36\% f_{c.cube}$, то есть, 30...40 % от уровня «кубиковой» прочности бетона. Верхняя граница трещинообразования f_T^V характеризует уровень напряжений, при которых имеет место необратимое развитие и «раскрытие» трещин в объеме бетона. По разным данным их значения соответствуют 60...70 % от уровня прочности бетона на сжатие.

Таким образом, полученные нами экспериментальные данные соответствуют важнейшим теоретическим представлениям, связывающим процессы трещинообразования в бетоне под действием статической механической нагрузки с изменением его прочности. То есть, они с полным основанием могут служить базой и для оценки соответствующих изменений эксплуатационных свойств бетона.

Из полученных данных следует важный вывод: циклически действующая статическая механическая нагрузка, превышающая уровень 40...50 % от проектной прочности бетона и вызывающая соответствующие знакопеременные деформации материала, воздействует на его структуру практически так же, как и попеременное замораживание-оттаивание или циклическое насыщение-высушивание. Во всех этих случаях со временем образуются микротрещины, которые постепенно развиваются в макронарушения структуры бетона, приводящие к снижению его прочности.

Уровень статической нагрузки, %от f_{c28}	Прочность бетона, МПа, после числа циклов «сжатие-отпуск», циклы:											
	0*	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	
<i>Естественные условия твердения (под пленкой)</i>												
30	45**	-	-	-	-	45	46	45	44	44	43	
	53***	-	-	-	-	53	53	54	52	52	53	
50	45	-	-	-	-	45	45	43	43	43	40	
	53	-	-	-	-	53	53	52	51	50	49	
50****	43	-	-	-	-	43	42	40	38	37	35	
	52	-	-	-	-	52	52	50	48	47	45	
70	45	-	-	-	-	45	45	42	39	36	-	
	53	-	-	-	-	53	53	51	49	45	40	
70****	43	-	-	-	-	43	41	37	33	-	-	
	52	-	-	-	-	52	51	48	44	39	-	
90	45	44	42	40	38	35	-	-	-	-	-	
	53	52	50	48	45	42	-	-	-	-	-	

в возрасте 28 сут.; ** мелкозернистый бетон; *** бетон со щебнем; **** в водонасыщенном состоянии.

Таблица 1 Влияние статистической нагрузки на прочность бетона при циклическом нагружении

рукции бетона при переходе нагрузки за предел в 70 % от проектной прочности бетона. Одновременно с тем, налицо способность бетона к длительному сопротивлению сжимающей статической периодически прикладываемой нагрузки в пределах 30...40 % от ее проектных значений (соответственно равной 14...18 МПа и 16...21 МПа). Снижение прочности бетона к 70 циклам испытаний составило менее 10 %, а (по данным, не вошедшим в табл. 1) снижение на ≥ 20 % соответствовало более чем 120 циклам «сжатия-отпуска».

Полученные экспериментальные данные согласуются с теоретическими представлениями о поведении тяжелого бетона под механической нагрузкой, сформировавшимся в 60-70-ых годах прошлого века, и наиболее детально рассмотренных в исследованиях О.Я. Берга.

Согласно этой теории при нагружении бетона механической нагрузкой его состояние и способность сохранять «целостность» структуры и несущую способность связано с двумя параметрическими точками: f_T^o , или нижней границей трещинообразования, и f_T^V , или верхней границей трещинообразования. Напряжения, не превышающие уровень нижней границы трещинообразования f_T^o , не опасны для бетона при многократном приложении нагрузки или ее постоянном действии. В случае, если многократно повторяющаяся нагрузка находится в пределах $f_T^o < f_c < f_T^V$, то имеет место накопление «усталости» бетона и образец со временем разрушается. Естественно, что при уровне нагрузки и, соответственно, напряжений в бетоне для случая, если $f_c > f_T^V$, разрушение происходит ускоренно. Причины постоянного (или ускоренного) разрушения бетона видят в образовании микротрещин, за пределами напряжений, превышающих f_T^o , которые под действием повторяющейся нагрузки «развиваются» в макродефекты структуры, приводящие к необратимым деструктивным явлениям и потере прочности бетона.

Влияние статической нагрузки на прочность бетона

Бондарович А. И., Батяновский Э. И.
Белорусский национальный технический университет

Поведение бетона под сжимающей статической нагрузкой, проявляющиеся при этом упругие и пластические деформации, развивающиеся в процессе загрузки и при длительном воздействии нагрузки, достаточно детально изучены для конструктивных бетонов различной прочности, составов и видов (О.Я. Берг, работы его научной школы). Влияние же возникающих под действием нагрузки необратимых деформаций, проявляющихся в образовании дефектов в объеме цементного камня в бетоне, на его эксплуатационные свойства по существу не изучено. Отсутствуют данные об уровнях нагрузки, превышение которых вызывает появление необратимых нарушений структуры в виде микротрещин, развивающихся со временем в существенные дефекты, провоцирующие снижение сопротивляемости бетона агрессивному воздействию эксплуатационной среды. По существу нет системных данных о влиянии многократно приложенной нагрузки различного уровня на возможные изменения, например, морозостойкости, водонепроницаемости, изменений в количестве поглощаемой бетоном воды. В результате не представляется возможным на основании имеющейся в технической литературе информации обосновать роль и степень влияния механических нагрузок на эксплуатационные свойства бетона.

Циклически или многократно повторяющаяся статическая механическая нагрузка приводит со временем к снижению прочности бетона. Этот отрицательный эффект прямо зависит от уровня нагрузки и числа циклов ее воздействия. Так, примерно равное снижение прочности образцов бетона естественного твердения (как цементно-песчаного, так и содержащего крупный заполнитель) наблюдается при нагрузке ~ 50 % от проектной прочности бетона (соответственно: 23 МПа и 27 МПа) к 70 циклам; при нагрузке ~ 70 % от f_{c28} (соответственно: 32 МПа и 37 МПа) к 40...50 циклам; при нагрузке ~ 90 % от f_{c28} (соответственно: 41 МПа и 48 МПа) к 4...5 циклам "сжатия-отпуска" (сброс нагрузки). Очевидно «лавинοобразное» нарастание дест-

в два раза выше, чем для пропитанной древесины – сосны, применяемой для изготовления полушпал метрополитена.

Водопоглощение по массе термопласткомпозита составляет небольшую величину и находится в пределах от 0,5-0,7 % и как следствие обеспечивает высокую его морозостойкость. После 500 циклов попеременного замораживания и оттаивания по ускоренной методике снижение прочности составляло 4,8 % по сравнению с контрольными образцами.

Предел прочности при сжатии составляет 19,9 МПа, что соответствует классу бетона на сжатие В15. Предел прочности при изгибе достаточно высокий и составляет 15,9 МПа. Для сравнения следует отметить, что предел прочности при сжатии древесины поперек волокон в 4-5 раз меньше, чем этот показатель для термопласткомпозита.

Деформативные свойства испытанного термопласткомпозита определяли при статическом кратковременном нагружении сжимающей нагрузкой. Продольные и поперечные деформации измеряли с помощью тензометрических датчиков на базе измерения 50 мм. Модуль упругости определяли при напряжениях, равных 0,3 от призмной прочности. Численное значение этой характеристики составляет в среднем 1640 МПа, что значительно выше, чем для древесины (сосны) в поперечном направлении.

Модуль сдвига определяли неразрушающим методом. Значение этого показателя составляет 0,42 от величины модуля упругости.

Коэффициент Пуассона для термопласткомпозита соответствует значению 0,39, что в 2,3 раза выше, чем для тяжелого бетона и в 2,5 раза меньше, чем для древесины поперек волокон.

Полученные физико-технические термопласткомпозита позволили произвести расчет полушпал из термопласткомпозитного материала. Опытная партия этих изделий после испытания на трещиностойкость будет уложена на одном из участков метрополитена для проверки их в эксплуатационных условиях.

Литература

1. Богдан, В.А. Оригинальная технология получения эффективных мелких и крупных стеновых блоков из мелкозернистого бетона / В. А. Богдан, А. Я. Лихачевский, А. Ю. Римашевский // Сборник статей XIV международного практического семинара: в 2 т. – Минск, 2006. – Т. 1. – С 37–41.

УДК 691.311

Физико-технические свойства материала из термопласткомпозитов для подземных рельсовых путей

Галузо О. Г., Галузо Г. С., Данилевич А. Ю., Костюкевич А. П.
Белорусский национальный технический университет

Термопласткомпозиты представляют собой композиционный материал, получаемый при отверждении спрессованной смеси, состоящей из термопластичного полимера – полиэтилена или его отходов, природного кварцевого песка и добавок. Это химически стойкий и долговечный материал, устойчив к воздействию воды, щелочей и кислот. Применяют его для изготовления плиток пола и кровельной черепицы.

Целью выполненной работы являлось исследование структурных, гидрофизических, механических и деформативных свойств термопласткомпозитов, предназначенных для изготовления полушпал метрополитена.

Образцы для определения физико-технических свойств изготовлены в заводских условиях путем формования смеси компонентов в металлических пресс-формах при давлении 5-6 МПа и температуре смеси 130-150 °С.

Среднюю плотность, предел прочности при сжатии и водопоглощение определяли на образцах кубах с ребром 70,7 мм. Морозостойкость термопласткомпозита определяли ускоренным методом при многократном замораживании и оттаивании на образцах-кубах с ребром 70,7 мм. Предел прочности при изгибе, модуль упругости, модуль сдвига и коэффициент Пуассона определяли на образцах-призмах размерами 70x70x280 мм.

Установлено, что плотность испытанных термопласткомпозитов составляет 1580-1650 кг/м³ и зависит от величины прес-сующего давления при формовании. Этот показатель в среднем

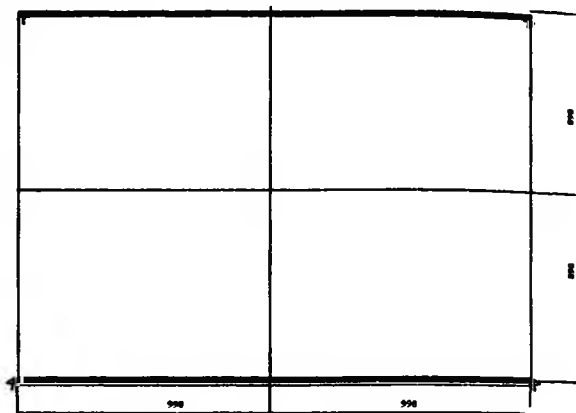


Рисунок 3. Форма на четыре блока

Для обеспечения возможности извлечения блоков после термообработки без разрушения граней следует предусмотреть минимальное армирование с установкой на одной из граней монтажных устройств (петель), для обеспечения возможности проведения работ по распалубке готовых изделий, транспортировки и монтажа блоков при помощи грузоподъемных механизмов (рис. 4).

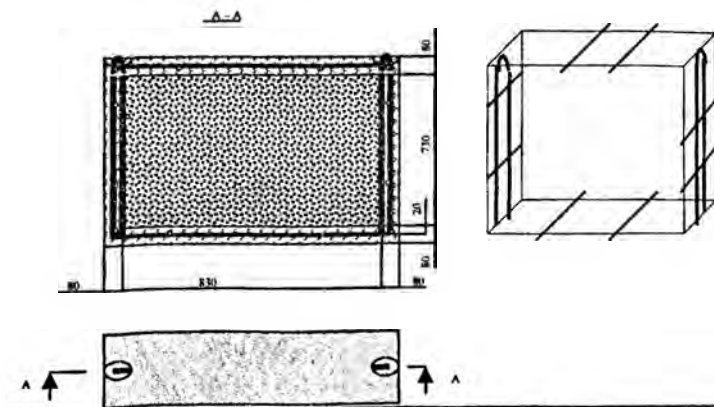


Рисунок 4. Схема пространственного каркаса

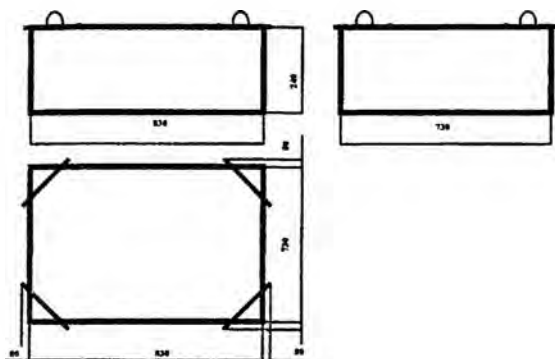


Рисунок 1. Вкладыш-пустотообразователь

Для предотвращения погружения вкладыша в бетонную смесь при вибрировании перед формовкой нижнего слоя на дно формы следует установить бетонные фиксаторы, на которые будет опираться вкладыш. Фиксаторы изготавливают заранее (предлагаемая форма фиксатора приведена на рис.2).

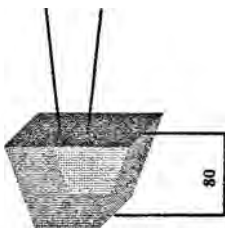


Рисунок 2. Бетонный фиксатор

Внутренняя полость вкладыша заполняется теплоизоляционным материалом, а пространство между стенками формы и вкладыша заполняется бетонной смесью, которая достигает верхних кромок вкладыша. Теплоизоляционный материал виброуплотняется и в процессе уплотнения

добавляется до полного заполнения внутренней полости вкладыша, после чего вкладыш извлекается из формы и формовка блока завершается формованием последней грани блока, находящейся сверху в процессе изготовления блока. Такая технология изготовления блоков позволяет в одной форме размещать 1, 4 или 6 блоков.

Пример формы на четыре изделия приведен на рис. 3.

Технология бетона и строительные материалы

УДК 666.97.01

**Совершенствование технологии
изготовления крупных стеновых блоков
за счет замены жёсткой консистенции
мелкозернистобетонной смеси на подвижную**

Лихачевский А. Я., Богдан В. А., Римашевский А. Ю.,
Николаев В. А.

Белорусский национальный технический университет

На XIV международном научно-практическом семинаре нами была предложена оригинальная технология получения эффективных мелких и крупных стеновых блоков из мелкозернистого бетона [1]. При этом оказалось, что наиболее перспективным представляется изготовление крупных стеновых блоков. Даже при значительной толщине оболочки равной 80 мм, позволяющей получить прочность до 15 МПа при активности цемента 40 МПа, термическое сопротивление при плотности теплоизоляционного материала до 20 кг/м³ составит 4 м² · °К/Вт, при плотности теплоизоляционного материала до 100 кг/м³ – 2,7 м² · °К/Вт и при плотности теплоизоляционного материала 200 кг/м³ – 2,1 м² · °К/Вт.

В связи с тем, что толщина оболочки может достигать значительной толщины (до 80 мм), представляется возможным формировать её не из мелкозернистобетонной смеси жесткой консистенции, а из бетонной смеси с крупным заполнителем (фракции 10-20 мм) с осадкой конуса 1 – 4 см.

Для осуществления такой технологии предлагается использовать специальный вкладыш – пустотообразователь, изготовленный из стальных листов толщиной до 3 мм, представленный на рис. 1. металлические стержни по углам вкладыша обеспечивают жёсткость вкладыша и фиксируют его положение внутри формы блока.

Обработка по методу многокритериальной оптимизации						
μ	0,471	1,084	0,803	0,515	0,989	0,331
M_1	0,0467	0,0436	0,0409	0,0437	0,0381	0,0061
M_2	0,0435	0,0325	0,0430	0,0549	0,0377	0,0110
M_3	0,0196	0,0436	0,0208	0,0239	-	0,0111
M_4	-	-	-	0,0459	-	-
P_1	0,643	0,639	0,640	0,679	0,642	0,636
P_2	0,640	0,632	0,648	0,659	0,624	0,651
P_3	0,668	0,626	0,634	0,619	-	0,641
P_4	-	-	-	0,679	-	-

1,2,3 – обработка триангуляции;

4,5 - обработка трилатерации;

6 – обработка линейно-угловой сети.

По результатам таблицы можно сделать следующие выводы:

1. При уравнивании по МНК величина P близка к 0,32, что является надежным контролем при отладке программы;

2. Благодаря многокритериальной оптимизации, величины M_j уменьшились в 1,5-2 раза по сравнению с МНК, что и предусматривалось критерием (6);

3. Несмотря на уменьшение погрешностей M_j , количество попаданий пунктов в круг ошибок увеличилось. В результате величина P , вычисленная для многокритериальной оптимизации, практически во всех случаях больше величины P , вычисленной для МНК.

Литература

1. Гармаза, О. Е. Об оценке точности положения пунктов плановых геодезических сетей методом статических испытаний при уравнивании по алгоритму Lp-оценок / О. Е. Гармаза // Вестник БНТУ. – 2004. – № 3. – С.7–8.

2. Андреев, Ю. П. Вычисление оценок точности методом моделирования ошибок / Ю. П. Андреев // Геодезия и картография. – 1971. – № 11. – С.20–24.

3. Сорокин, А. И. О вероятности средней квадратической погрешности положения точки / А. И. Сорокин, И. А. Сорокин // Геодезия и картография. – 1981. – № 12. – С.31–34.

4. Ганьшин, В. Н. Оценка точности определения местоположения пункта одним числом / В. Н. Ганьшин, В. М. Лазарев // Геодезия и картография. – 1985. – №8. – С.43–45.

Если $R_j \leq M_j$, то пункт j попал в круг ошибок. Вероятность попадания определяемого пункта в круг ошибок рассчитаем по формуле [3]:

$$P = \frac{K}{10000}, \quad (4)$$

где K - число попаданий определяемого пункта в круг ошибок при 10000 испытаний. Расчеты на *IBM PC/AT-486* показали, что, благодаря применению матрицы F , для геодезических сетей, состоящих из 5 пунктов, представленные выше результаты вычисления на Pentiums занимают 1с машинного времени.

Практическая значимость данного предложения заключается в возможности вычисления вероятности P при нетрадиционных методах уравнивания. Ранее P рассчитывалось при уравнивании по методу наименьших квадратов (МНК), для которого $P=0,632$ независимо от величин M_j [4].

Для иллюстрации эффективности рассмотрим пример применения предложенного метода многокритериальной оптимизации, когда уравненные координаты пунктов и уравненные измерения получают путем минимизации двух целевых функций.

$$\Phi_1(X) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{C_i}{\sigma_i} \right)^n |L_i(X)|^n. \quad (5)$$

$$\Phi_2(X) = \min(\max M_j). \quad (6)$$

Соответствующие расчеты представлены в таблице.

Результаты вычислений

№ примера	1	2	3	4	5	6
Обработка по методу наименьших квадратов						
μ	0,608	1,139	0,833	1,053	1,098	1,121
M_1	0,0523	0,0475	0,0424	0,0595	0,0373	0,0077
M_2	0,0536	0,0292	0,0439	0,0766	0,0406	0,0141
M_3	0,0245	0,0387	0,0206	0,0392	-	0,0125
M_4	-	-	-	0,0589	-	-
P_1	0,634	0,635	0,638	0,659	0,640	0,644
P_2	0,635	0,632	0,649	0,673	0,622	0,645
P_3	0,667	0,631	0,637	0,630	-	0,641
P_4	-	-	-	0,658	-	-

УДК 528.48

**К вопросу оценки методом статистических испытаний
результатов измерений при нетрадиционных
способах уравнивания**

Гармаза О. Е.

Белорусский национальный технический университет

В работе [1] проанализирован вопрос применения расширенной псевдообратной матрицы

$$F = (A^T C A)^{-1} A^T C, \quad (1)$$

для реализации оценки точности положения пунктов методом статических испытаний при нетрадиционных способах уравнивания. Здесь A - матрица коэффициентов параметрических уравнений поправок; C - матрица весов измерений. Матрицу F можно получить аналитически и получением коэффициентов по формуле Ю.П. Андреева [2].

Используя вычисленную матрицу F , можно не только выполнить оценку точности функций уравненных и измеренных величин, но и вычислить вероятность попадания определяемого пункта в круг ошибок методом статистических испытаний.

Анализ вычисления названной вероятности показал целесообразность выполнять при большом количестве опытов (10 000 опытов) следующим образом:

Пусть из уравнивания известны погрешности положения определяемых пунктов M_j . По величинам средних квадратических погрешностей результатов геодезических измерений, полученным после уравнивания, генерируем вектор свободных членов параметрических уравнений поправок L . Вычисляем вектор приращений координат:

$$\delta X = -FL, \quad (2)$$

Для каждого определяемого пункта вычисляем статистическое уклонение

$$R_j = \sqrt{\delta_{x_i}^2 + \delta_{x_{i+1}}^2}, \quad (3)$$

где $\delta x_i, \delta x_{i+1}$ - компоненты вектора δX .

$$l := \begin{pmatrix} -13.47 & -2.96 & 5.94 & 1.74 & 9.29 & 5.88 & -1.42 & -5.01 \\ 9.10 & -17.06 & -13.44 & -3.51 & -0.69 & 7.73 & 4.92 & 12.94 \end{pmatrix};$$

$$\delta_k := \begin{pmatrix} -14.36 & -3.24 & 4.91 & 1.43 & 10.97 & 7.42 & -1.80 & -5.34 \\ 9.07 & -16.96 & -13.69 & -4.00 & -0.22 & 8.26 & 4.92 & 12.60 \end{pmatrix}.$$

Тогда матрицы A будут иметь вид:

$$A = \begin{vmatrix} 3.08 & 1.24 \\ 1.24 & 0.75 \end{vmatrix}.$$

Сравнив s и δ , вычислим смещение пунктов Δ_s ,

$$\Delta_s = \begin{vmatrix} -0.19 & -0.83 & 1.07 & 0.34 & -0.68 & -0.54 & 0.45 & 0.36 \\ -0.20 & -0.31 & 0.27 & 0.50 & -0.26 & -0.33 & -0.01 & 0.33 \end{vmatrix}.$$

Нахождение Δ_s позволит получить оценку f , которая регламентирована в методических указаниях [2]. Там указано, что допустимое значение для земель поселений составляет $f_{\text{доп}} = 0,3\text{м}$.

Итак, $f = 0.28; 0.89; 1.10; 0.60; 0.73; 0.63; 0.45; 0.48$.

Полученные результаты показывают, что координаты точек содержат грубые ошибки. В этом случае можно отбраковать точки, дающую максимальную ошибку, и повторить анализ. Удалив из анализа координаты точек 2, 3, 5 будем иметь:

$$\Delta_s = \begin{vmatrix} -0.32 & 0.34 & -0.40 & 0.46 & 0.38 \\ -0.20 & 0.48 & -0.25 & 0.04 & 0.40 \end{vmatrix};$$

$$f_1 = 0.24; 0.58; 0.47; 0.46; 0.55.$$

Полученные значения f_1 не существенно отличаются от f и отличается от допусков, оговоренных в Методических указания [2]. Это говорит о том, что несоответствие контура здания на растре и на плане, полученном в результате обновления, обусловлено ошибками составления архивного плана.

Следовательно, участок этого плана нельзя принимать в обработку.

Литература

1. Мориц, Г. Современная физическая геодезия / Г. Мориц. – М.: Недра, 1983 г.
2. Методические рекомендации по проведению межеванию объектов землеустройства. – М.: Федеральная служба земельного кадастра России, 2003.

Матрица $C_{\varepsilon\varepsilon}$ есть сумма двух матриц A и B .

$$C_{\varepsilon\varepsilon} = A + B; \quad (6)$$

$$A = C_{ss} - C_{sl}C_{ll}^{-1}C_{ls}, \quad (7)$$

где A – мера несоответствия анализируемых массивов друг другу. По главной диагонали этой матрицы расположены суммы квадратов рассогласований соответственно по оси X и по оси Y .

Составляющая B описана следующим соотношением:

$$B = (H - C_{sl}C_{ll}^{-1})C_{ll}(H - C_{sl}C_{ll}^{-1})^T. \quad (8)$$

Для того чтобы матрица $C_{\varepsilon\varepsilon} = A + B = \min$, необходимо чтобы $B = 0$. Тогда

$$H = C_{sl}C_{ll}^{-1}. \quad (9)$$

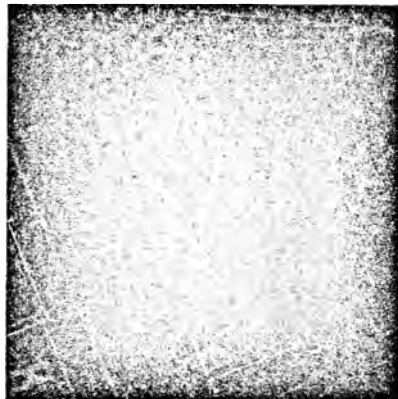
Подставив формулу (9) в формулу (3), будем иметь:

$$\hat{s} = C_{sl}C_{ll}^{-1}l. \quad (10)$$

Это выражение есть формула среднего квадратического прогноза, поскольку она – точный аналог формулы прогноза Колмагорова-Винера.

Сравнив s и \hat{s} , можно вычислить смещение пунктов Δs .

Пример использования фильтра Колмагорова-Винера для оценки соответствия контуров применительно к зданию 2КЖ



Совместив начало счёта для обоих векторов с геометрическими центрами тяжести будем иметь два массива:

УДК 528.48

Применение фильтра Колмогорова-Винера для оценки точности архивных материалов

Рак И. Е.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня многие организации в Республике Беларусь занимаются созданием и внедрением своих банков пространственно-распределенных данных на интересующие их участки территорий. Поэтому в настоящее время очень актуальна проблема создания цифровых карт.

Один из путей решения данной проблемы – создание цифровой карты на основе архивных данных, т.е. векторизация уже имеющегося топографического материала. Необходимый этап при решении этой задачи – исследование соответствия содержания исходного картографического материала к современному состоянию. Исследование соответствия контуров удобно проводить, используя математический аппарат среднеквадратического прогноза Колмагорова-Винера.

Сущность этого метода заключается в следующем.

Имеем два множества случайных величин: множество l точек контура, полученных при обновлении территории:

$$l = [l_1 l_2 \dots l_q]^T \quad (1)$$

и множество тех же точек, обозначенные s , которые считаны с растрового изображения:

$$s = [s_1 s_2 \dots s_m]^T. \quad (2)$$

Тогда линейная оценка вектора s имеет вид:

$$\hat{s} = H l, \quad (3)$$

где H – некоторая матрица линейного преобразования вектора s в вектор l . А вектор ошибок будет иметь вид:

$$\varepsilon = \hat{s} - s. \quad (4)$$

Ковариационная матрица вектора ε

$$C_{\varepsilon\varepsilon} = (\hat{s} - s) (\hat{s} - s)^T, \quad (5)$$

есть ковариационной матрицей ошибок, а ее диагональные элементы – дисперсия ошибок σ^2 .

Для определения оптимального решения при заданной погрешности 6% достаточно было выполнить три приближения. В результате расчета и в соответствии с принятыми исходными данными получена рациональная конструкция монолитной ребристой плиты с отверстием при следующих параметрах – $x_1 = 90$ мм; $x_2 = 60$ мм; $x_3 = 6,5$ см². На рисунке 2 показан характер распределения изгибающих моментов в этой плите.

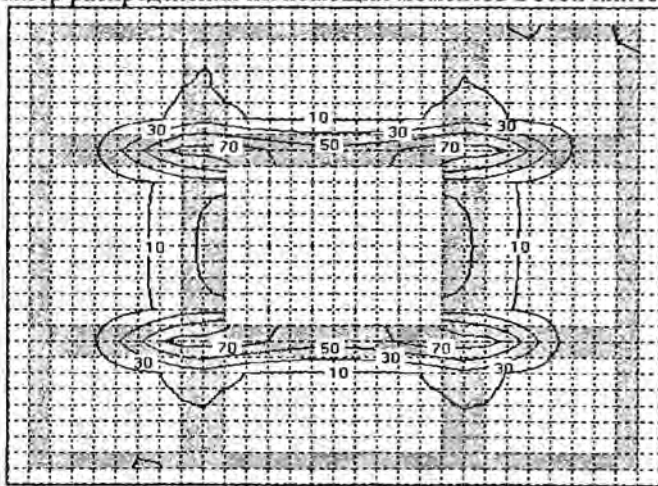


Рисунок 2 – Карта изолиний изгибающих моментов M_x

Выводы

1. В соответствии с принятыми исходными данными найдена оптимальная конструкция железобетонной плиты с отверстием, подкрепленной ребрами жесткости.
2. По характеру расположения изолиний изгибающих моментов M_x очевидно, что моменты сосредоточены в ребрах плиты. Полка плиты служит в большей степени для связи ребер и для передачи местных нагрузок на ребра.

Литература

1. Оптимизация прямоугольных железобетонных плит кусочно-постоянного сечения методом градиентного спуска по границе // Материалы Третьей международной научно-технической конференции: в 2 т. – Минск, 2006. – Том 1. – С. 400–402.

$$x_n = \frac{-b_n \pm \sqrt{b_n^2 - 4ac_n}}{2a}; \quad x_n = \frac{-b_{n-1} \pm \sqrt{b_{n-1}^2 - 4ac_{n-1}}}{2a}, \quad (5)$$

где $a = s_n^2 k_n^2 + s_{n-1}^2 k_{n-1}^2$;

$$b_n = -2(s_n^2 k_n K - s_n^2 \dot{x}_{n-1} k_{n-1} k_n + s_{n-1}^2 k_{n-1}^2 \dot{x}_n);$$

$$b_{n-1} = -2(s_{n-1}^2 k_{n-1} K - s_{n-1}^2 \dot{x}_n k_{n-1} k_n + s_n^2 k_n^2 \dot{x}_{n-1});$$

$$c_n = s_n^2 K^2 - 2s_n^2 \dot{x}_{n-1} k_{n-1} K + s_n^2 \dot{x}_{n-1}^2 k_{n-1}^2 + s_{n-1}^2 \dot{x}_n^2 k_n^2 - k_{n-1}^2 s_n^2 s_{n-1}^2 D;$$

$$c_{n-1} = s_{n-1}^2 K^2 - 2s_{n-1}^2 \dot{x}_n k_n K + s_{n-1}^2 \dot{x}_n^2 k_n^2 + s_n^2 \dot{x}_{n-1}^2 k_{n-1}^2 - k_n^2 s_{n-1}^2 s_n^2 D.$$

Выполняя полученные условия (5), мы можем задавать произвольную комбинацию параметров x_1, x_2, \dots, x_{n-2} и всегда при этом оставаться на границе определенной условием прочности. Это обеспечивает при поиске оптимального решения движение только по границе. Для повышения эффективности поиска оптимального решения следует использовать метод градиентного спуска [1] в пространстве R_{n-2} .

После выполнения изложенных выше действий в первом приближении следует повторить их во втором приближении, приняв в качестве центра эллипсоида найденную точку пространства R_n . Расчет должен продолжаться до тех пор, пока результаты следующих друг за другом приближений не станут меньше некоторой наперед заданной величины.

Используя предложенный нами метод, рассмотрен пример оптимизации прямоугольной железобетонной плиты ($5,6 \times 5,6$ м) с отверстием, подкрепленной ребрами жесткости ($b_r = 0,5$ м) и шарнирно опертой по краю. Нагрузка представлена в виде четырех сил, приложенных в местах пересечения ребер. Были приняты следующие данные: класс бетона – C_{25} ; класс арматуры – S400; нагрузка – четыре силы по 150 кН; количество приближений при решении нелинейной задачи – 30; множитель релаксации – 0,3; цена бетона – 120 тыс.руб/м³; цена арматуры – 1200 тыс.руб/т. В качестве параметров оптимизации приняты три величины: x_1 – высота ребра; x_2 – толщина полки; x_3 – площадь сечения арматуры в ребрах. Поэтому поиск оптимального решения происходит в трехмерном пространстве R_3 .

Около этой точки построим эллипсоид с полуосями s_1, s_2, \dots, s_n и центром в точке $\{\dot{x}_n\}$.

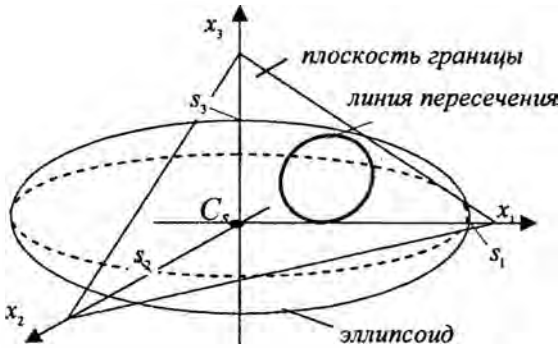


Рисунок 1 – Линия пересечения гиперплоскости и эллипсоида

Линия пересечения гиперплоскости и эллипсоида определяется решением системы уравнений (3)

$$k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_n x_n = k_0; \quad \left(\frac{x_1 - \dot{x}_1}{s_1} \right)^2 + \left(\frac{x_2 - \dot{x}_2}{s_2} \right)^2 + \left(\frac{x_n - \dot{x}_n}{s_n} \right)^2 = 1. \quad (3)$$

Используя уравнения (3), выразим параметры x_n и x_{n-1} через другие параметры оптимизации x_1, x_2, \dots, x_{n-2} и получим систему двух уравнений с двумя неизвестными (4)

$$k_{n-1} x_{n-1} + k_n x_n = K; \quad \left(\frac{x_{n-1} - \dot{x}_{n-1}}{s_{n-1}} \right)^2 + \left(\frac{x_n - \dot{x}_n}{s_n} \right)^2 = D, \quad (4)$$

где $K = k_0 - (k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_{n-2} x_{n-2})$;

$$D = 1 - \left[\left(\frac{x_1 - \dot{x}_1}{s_1} \right)^2 + \left(\frac{x_2 - \dot{x}_2}{s_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{x_{n-2} - \dot{x}_{n-2}}{s_{n-2}} \right)^2 \right].$$

Решив систему уравнений (4) относительно неизвестных x_{n-1} и x_n , получим функции (5), выражающие эти оба неизвестные через другие параметры оптимизации.

Оптимизация прямоугольной плиты кусочно- постоянной толщины с отверстием

Вербицкая О. Л., Шевчук Л. И.

Белорусский национальный технический институт

Решена задача оптимизации поперечно изогнутой железобетонной прямоугольной плиты с отверстием, подкрепленной ребрами жесткости. Статический расчет плиты выполнен методом конечных элементов (МКЭ) с помощью авторской программы *STURM*. Для построения численной модели использованы прямоугольные плитные конечные элементы с четырьмя узлами и двенадцатью степенями свободы. Для определения жесткости конечных элементов, ширины раскрытия трещин и предельного изгибающего момента использована методика СНБ 5.03.01-02. В связи с этим плиту следует рассматривать как нелинейно-деформируемую.

Для поиска оптимального решения используются результаты анализа целевой функции в окрестности точки поиска. Пусть конструктивные и геометрические особенности плиты описаны n параметрами оптимизации, образующими n -мерное пространство R_n . В качестве целевой функции взята стоимость материала плиты – бетона и арматуры

$$C(\bar{X}_0) = \min C(\bar{X}), \quad \bar{X} \in R_n, \quad \bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T. \quad (1)$$

Поставлены конструктивные ограничения и ограничения по прочности

$$x_k \geq x_{lim}, \quad k = 1, 2, \dots, n; \quad M_{rd} - M_{sd} \geq 0, \quad (2)$$

где M_{rd} – предельный изгибающий момент для сечения плиты, определяемый по СНБ 5.03.01-02; M_{sd} – расчетный изгибающий момент в сечении плиты вычисляемый с учетом нелинейности деформирования железобетона.

Пусть для сформулированной оптимизационной задачи некоторая точка $(\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_n)^T$ многомерного пространства R_n находится вблизи границы, заданной ограничением по условию прочности. В некоторой малой окрестности эту границу представим как гиперплоскость, описанную линейным уравнением.

$$m_{xy} = \sqrt{(D/\rho'')^2 m_{\alpha}^2 + m_D^2 + m_{\text{фикс}}^2},$$

где D – дальность; $\rho'' = 206265$; m_{α} – погрешность измерения дирекционного проектного угла; m_D – погрешность дальности по светодальномеру; $m_{\text{фикс}}$ – погрешность фиксации искомой точки.

Для тахеометра 3-секундной точности TCR/303 при $D \leq 100$ м; $m_{\alpha} = 3''$; $m_D = 3$ мм; $m_{\text{фикс}} = 1$ мм для точки 1 расчетная погрешность выноса $m_1 \leq 3,5$ мм.

Для тахеометра 1-секундной точности TCR 1201 (применяется для контроля геодезических данных на том же объекте) при $D \leq 100$ м; $m_{\alpha} = 1''$; $m_D = 2$ мм; $m_{\text{фикс}} = 1$ мм расчетная погрешность выноса $m_1 \leq 2,7$ мм. Следовательно, оба тахеометра удовлетворяют расчетной точности разбивок осей и проектных центров для монтажа несущих колонн объектов «Минск-Арена».

Общие выводы:

1. Развитие пунктов внутренней разбивочной сети спортивных сооружений комплекса «Минск-Арена» с помощью электронных тахеометров выполняется с необходимой точностью при минимальных затратах труда и времени.

2. Электронные тахеометры обеспечивают разбивочные работы относительно опорных точек, выбранных в местах, где в данное время отсутствуют помехи от строительных процессов.

3. Применение временных опорных пунктов внутренней разбивочной основы взамен постоянных отменяет необходимость осуществления неэффективных мер по защите постоянных опорных пунктов от уничтожения.

4. Условно отрицательная характеристика электронных тахеометров для многих пользователей в современных условиях состоит в том, что расчеты координат опорных и разбиваемых точек, технология работ с электронным тахеометром доступны лишь подготовленным специалистам.

5. Результаты данной работы внедрены в практику путем включения в Проект производства геодезических работ (ППГР) на объекты комплекса «Минск-Арена», подготовленный кафедрой инженерной геодезии БНТУ в течение апреля-мая 2007 г.

7. Фастов, Н. С. К термодинамике необратимых процессов в упруго-деформированных средах / Н. С. Фастов // Проблемы металлостроения и физики металлов. – М.: Металлургиздат, 1958. – № 5.
8. Хорошун, Л. П. К термодинамике механических и тепловых процессов в сплошных средах / Л. П. Хорошун // Вопросы механики реального твердого тела. – Киев: Наукова думка, 1964. – Вып. 2. – С.107–113.

УДК 528.48

**Модификация геодезических методов выноса
разбивочных осей сооружений культурно-
спортивного комплекса «МИНСК-АРЕНА»**

Нестеренок М. С., Щербин И. И.

Белорусский национальный технический университет

Электронный тахеометр служит современным измерительно-вычислительным средством автоматизации и модернизации геодезических разбивочных работ при возведении сооружений. Во внутренней памяти процессора электронного тахеометра имеются прикладные программы, например «Вынос в натуру» (Setting out), «Связующие расстояния» (Tie Distant) и др.

Первый шаг программы: вычисление координат предварительной точки I' по формулам

$$x' = x_{\text{СТ}} + d \cos \alpha; \quad y' = y_{\text{СТ}} + d \sin \alpha.$$

Второй шаг программы: вычисление величин редуционных перемещений светоотражателя из предварительной точки I' в проектную точку I

$$\Delta x_R = x_{\text{пр}} - x'; \quad \Delta y_R = y_{\text{пр}} - y'; \quad \arctg \alpha_R = \Delta y_R / \Delta x_R;$$

$$R = \sqrt{(\Delta y_R)^2 + (\Delta x_R)^2}; \quad \gamma = \alpha_R - \alpha; \quad dT = R \sin \gamma; \quad dL = R \cos \gamma.$$

На дисплее индицируются величины dU и dL поперечного и продольного смещения отражателя в проектное положение. Отражатель соответственно перемещают и затем измерения повторяют. Если новые значения $dU \leq 3$ мм и $dL \leq 3$ мм, принимается решение о завершении выноса точки I .

Погрешность выноса точки полярным способом

модинамических параметров. Для исследования конкретных деформируемых тел, кроме предложенных автором зависимостей нужно найти выражение для свободной энергии, а также уравнение для определения тензоров релаксации [7].

В работе [8], исходя из допущений малости линейных и угловых деформаций, постоянства плотности деформируемого объема, излагается подход к построению реологических зависимостей в сплошной деформируемой среде при учете только механических и тепловых процессов и дается постановка такой задачи для деформируемого тела.

Таким образом, изложенные термодинамические подходы используют упрощения, которые могут привести к недопустимым погрешностям при анализе процессов деформирования. Основными из таких погрешностей являются представление деформирования с конечной скоростью как термодинамически обратимого процесса, что действительно только при бесконечно малых скоростях приложения нагрузки; неучет особенностей реального строения материалов, изменений в материалах, происходящих при технологических и эксплуатационных воздействиях и др.

Литература

1. Надаи, А. Пластичность и разрушение твердых тел: Пер. с англ./ А. Надаи; Под ред. Г. С. Шапиро. – М.: ИЛ, 1954. – 648 с.
2. Maugin, G.A. The thermomechanics of plasticity and fracture / G. A. Maugin. – Cambridge^Cambridge University press. – 1992. – 350 p.
3. Седов, Л. И. Механика сплошной среды / Л. И. Седов. – М.: Наука, 1973. – Т. 1. – 536 с.
4. Циглер, Г. Экспериментальные принципы термодинамики необратимых процессов и механика сплошной среды / Г. Циглер; пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 135 с.
5. Зайков, М. А. Режимы деформации и усилия при горячей прокатке / М. А. Зайков. – Свердловск: Metallurgizdat, 1960. – 302 с.
6. Радзивончик, В. Ф. Скоростное пластическое деформирование металлов / В. Ф. Радзивончик. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1967 – 211 с.

При выводе зависимости $\sigma = f(\varepsilon)$, описывающие кривые упругости металлов, автор [5] воспользовался уравнениями термодинамики обратимых процессов и получил соотношение:

$$\frac{\partial \sigma}{\sigma} = \frac{\left(\frac{\partial \Phi}{\partial \varepsilon}\right)_{u,T} d\varepsilon}{\Phi - F}, \text{ где} \quad (1)$$

F – свободная энергия. Из выражения (1) можно получить зависимости $\sigma = f_1(\varepsilon)$, $\sigma = f_2(T)$ [5]. Зависимость сопротивления металла деформированию от температуры при постоянных степени и скорости деформации устанавливается М. А. Зайковым [5] подобным путем.

Развернутый анализ процессов пластического деформирования с рассмотрением ряда конкретных процессов дан В. Ф. Радзивончиком [6]. Выразив закон сохранения энергии, с одной стороны через характеристики деформируемой среды (плотность, ρ теплопроводность α) и параметры процесса (скорость движения частиц u , составляющие внешних сил σ_{ab} и перемещений u_i , градиент температуры dT/dq_i), а с другой стороны, через закономерности движения самой энергии, и сопоставляя полученные уравнения, В. Ф. Радзивончик получает для монотонного пластического деформирования изотропной среды при отсутствии конвективной теплопередачи потоком внутренней энергии и адиабатическом и стационарном (скорость постоянная) процессе деформирования основные зависимости. Однако для практического использования полученных выражений необходимо еще знать связь внутренней энергии с параметрами процесса. С использованием законов термодинамики, пластического деформирования, экспериментальных данных автор [6] получает зависимость сопротивления деформации материала от ряда параметров.

Н. С. Фастовым [7] в основу термодинамического анализа процесса деформирования твердых тел положена свободная энергия и релаксационные явления. Термодинамическое состояние деформируемого тела характеризуется в состоянии равновесия температурой T и тензором деформации ε_{ik} , являющимися термодинамическими внешними параметрами, а для неравновесного состояния еще и совокупностью внутренних тер-

Инженерное обеспечение строительства

УДК 539.3

Анализ деформирования материала методами
термодинамики обратимых процессов

Мойсейчик Е. А.

Белорусский национальный технический университет

При деформировании материалов в упругой, упруго-пластической и пластических стадиях происходит превращение энергии деформации в тепловую и соответственно повышается температура деформируемого объема материала [2].

Целью данной работы является сопоставление методов анализа процессов деформирования материалов приемами термодинамики обратимых процессов.

Процессы деформирования металлов и других материалов с указанных позиций рассматриваются в работах [3–7].

Л.И.Седов в работе [3] получает универсальные термодинамические соотношения, справедливые при деформировании любых материальных сред. Термодинамические функции при построении теорий конкретных тел Л.И.Седов [3] рекомендует определять с помощью статистической физики, из опытных данных, посредством некоторых дополнительных гипотез, либо комбинаций этих трех способов. Конкретные подходы реализованы в ряде работ [4–8].

Г. Циглер [4] вводит представление о макроскопической силе X_k в виде суммы обратимой $X_k^{(r)}$ и необратимой $X_k^{(i)}$ сил. В деформируемых средах в качестве термодинамической силы предложено [4] рассматривать тензор напряжений. Зная функцию диссипации можно получить определяющие уравнения, связывающие скорости деформации в сплошных средах с необратимой частью тензора напряжений [4].

М. А. Зайковым [5] термодинамический анализ процесса пластического деформирования использован для описания в общем виде зависимостей сопротивления деформации металлов от степени (ε), температуры (T) и скорости деформации (u).

Анализ показывает, что при скоростях вращения детали 45 и 85 об/мин и $\omega_2 = 30$ об/мин (кривые 1 и 2 на рис.2) минимальное значение локальной погрешности достигается в случае, когда амплитуда составляет соответственно 75 и 65 мм. Если назначить скорость вращения инструмента 10 и 70 об/мин и $\omega_0 = 60$ об/мин (кривые 3 и 4), то минимум ΔN наблюдается при амплитуде 63 и 78 мм.

Полученные значения амплитуды, при которых локальная погрешность достигает минимума, согласуется с теоретическими расчетами, приведенными на рис.1.

На основе выполненных теоретико-экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для уменьшения кинематической составляющей локальной погрешности на обрабатываемой выпуклой сферической поверхности переносную угловую скорость инструмента ω_2 и скорость вращения детали следует назначать неравными между собой, нечетными и не попадающими в соотношение $\omega_2 / \omega_0 = 1/3$.

2. С целью минимизации динамической и температурной составляющих локальной погрешности скорость вращения детали и переносную скорость инструмента необходимо назначать минимальными, а амплитуду возвратно-вращательного перемещения последнего – максимальной. Такое сочетание отмеченных наладочных параметров станка обеспечивает сравнительно высокую производительность обработки на стадии доводки.

Литература

1. Зубаков, В. Г. Технология оптических деталей / В. Г. Зубаков [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 368 с.
2. Козерук, А. С. Формообразование прецизионных поверхностей / А. С. Козерук. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ, 1997. – 176 с.

Из анализа рисунка видно, что с увеличением скорости вращения ω_0 от 30 до 95 об/мин значение амплитуды L , уменьшается с 75 до 65 мм (кривая 1 на рис.1), а при возрастании скорости вращения инструмента ω_2 от 5 до 70 об/мин происходит обратное – экстремальная амплитуда L увеличивается с 65 до 80 мм (кривая 2 на рис.1).

Для проверки соответствия теоретических расчетов реальному процессу формообразования проведены экспериментальные исследования зависимости ΔN от наладочных параметров станка. Измерения данной погрешности выполняли на универсальном интерферометре KUI-35/RME-500 Kugler (ФРГ).

Полированию подвергалась поверхность линзы с $R_1 = 71,26$ мм, изготовленной из оптического стекла марки К8. Полирование выполняли на станке мод. 6ПД-100. Удельное давление составляло 40 г/см^2 , подача полирующей суспензии – ручная, полировальник – полиуретановый.

Результаты приведены на рис.2.

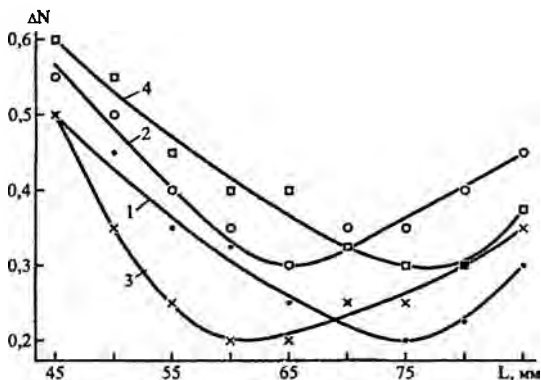


Рисунок 2 – Зависимость локальных погрешностей ΔN от величины амплитуды L при фиксированных значениях ω_0 и ω_2

окружности с j -м лучом (радиальным сечением), причем $i, j = \overline{1, K}$.

Расчет выполняли по формулам, полученным в процессе математического моделирования обработки линз.

Рассчитывали параметр $Q = p \cdot l$ для сферической поверхности радиусом кривизны $R_l = 78,26$ мм линзы диаметром 90 мм. Относительное значение ΔQ_{OTH} , вычисленное по формуле

$$\Delta Q_{OTH} = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_{max}} \cdot 100,$$

где Q_{max} и Q_{min} – максимальное и минимальное значения параметра Q для точки M_{ij} , использовали для оценки локальной погрешности, а время t , в течение которого среднее значение $Q_{cp} = \sum Q_{ij} / K^2$ для выбранной опорной точки достигает заданной величины – для характеристики производительности процесса.

Результаты расчёта представлены на рис. 1.

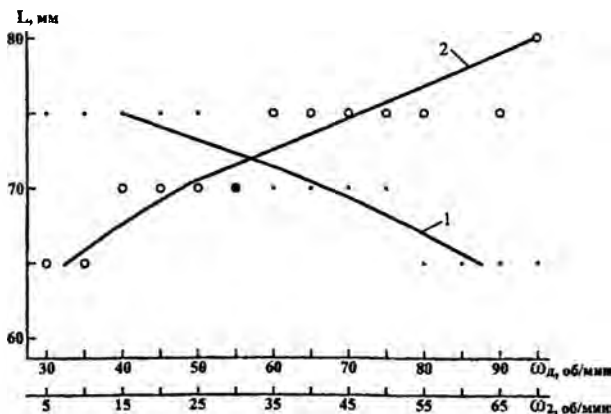


Рисунок 1 – Зависимость амплитуды L , при которой обеспечивается минимум относительного параметра Q от скоростей ω_1 и ω_2

4. В случае фокусировки раstra на бесконечность для увеличения T_{∞} следует уменьшить диаметр ЛЭ или увеличивать γ , что, однако, не всегда возможно по технологическим причи-

УДК 681.7.023.72

**Исследование показателей качества и производительности
формообразования прецизионных сферических
поверхностей**

Таболина Е. С., Козерук А. С., Кузнецик В. О.
Белорусский национальный технический университет

В традиционной технологии приборостроения формообразование линз с прецизионными исполнительными поверхностями происходит на шлифовально-полировальных и полировально-доводочных станках мод. ШП и ПД в условиях свободного притирания инструмента и заготовки через слой абразивной суспензии определенного состава. На данном технологическом оборудовании движениями резания являются вращение шпинделя станка и возвратно-вращательное перемещение выходного звена его исполнительного механизма (штанги), в качестве которого служит шарнирный четырехзвенник. При этом интенсивность съема припуска определяется формулой Ф. Престона

$$I = kpl,$$

где k – технологический коэффициент, зависящий от марки стекла, состава и зернистости абразивной суспензии, материала инструмента, температуры и других факторов; p – давление в зоне соприкосновения инструмента и детали; l – путь трения (резания), который проходит произвольно выбранная опорная точка на поверхности детали относительно инструмента за время обработки.

Для прогнозирования общей и локальной погрешностей, а также производительности процесса рассчитывали характер распределения пути трения и давления в непрерывно изменяющейся по величине зоне контакта инструмента и детали. С этой целью на обрабатываемой поверхности выделяли M_j опорных точек, представляющих собой пересечение i -й концентрической

мыми BC и DE [если $d \leq 1/(2R)$] или CD и DE [если $d \geq 1/(2R)$].

Расстояние между этими точками и будет представлять собой ГРИП. В случае, если растр сфокусирован на бесконечность, ГРИПП будет определяться пересечением прямой MN с прямыми $B'C'$ и $C'D'$ (см. рис.2, б).

В итоге были получены следующие зависимости:

$$T_1 = \frac{2z'_0}{R(2d + \gamma z'_0)} \quad \text{при } d \leq 1/(2R); \quad (6)$$

$$T_2 = \frac{4dz'_0(1 - \gamma Rz'_0)}{R(4d^2 - z_0'^2 \gamma^2)} \quad \text{при } d \geq 1/(2R); \quad (7)$$

$$T_\infty = \frac{2(1 - 2Rd)}{R\gamma} \quad \text{при } d \leq 1/(2R), \quad (8)$$

где T_1 – ГРИП в случае наводки растра на конечное расстояние при $d \leq 1/(2R)$; T_2 – ГРИП в случае наводки растра на конечное расстояние при $d \geq 1/(2R)$; T_∞ – ГРИП при наводке растра на бесконечность.

Из зависимостей (6–8) можно сделать выводы:

1. В интегральной фотографии ГРИП зависит от диаметра линзового элемента, углового разрешения системы растр-фотослой, расстояния от растра до плоскости наводки и допустимого разрешения в сечениях объемного изображения, т.е. способность к воспроизведению малых деталей в определенной ГРИП в изображении является функцией самой РФС.

2. Границы ГРИП располагаются сравнительно симметрично по обе стороны плоскости наводки. Таким образом, для максимального охвата изображения объекта резко изображаемым пространством следует располагать плоскость наводки растра приблизительно в середине пространства предметов или его промежуточного изображения, а именно в той плоскости, которую следует передать наиболее резко.

3. При наводке растра на конечное расстояние ГРИП при тех же параметрах растра превышает ГРИП при паводке растра на бесконечность, т.е. для получения предельно возможных величин разрешений и ГРИП в объемном изображении необходимо осуществлять фокусировку растра на конечное расстояние.

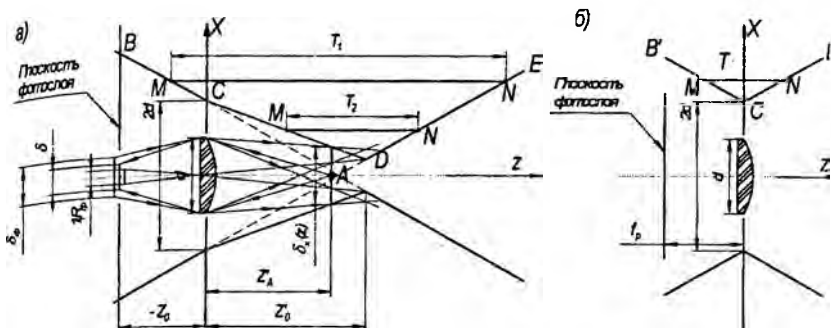


Рисунок 2 – Определение величины кружка нерезкости и глубины резко изображаемого пространства в ИФ:
 а – случай фокусировки ЛЭ на конечное расстояние;
 б – случай фокусировки ЛЭ на бесконечность

Следует подчеркнуть, что описанный анализ проводился для наиболее общего случая фокусировки ЛЭ раstra на конечное расстояние. Для частного случая расположения фотослоя в фокальной плоскости раstra выражение для вычисления R_{∞} принимает вид

$$R_{\infty} = [z'\gamma + 2d]^{-1}. \quad (5)$$

Поскольку для достижения предельной величины R необходимо производить фокусировку раstra на объект съемки (а это возможно только при реализации метода ИФ), то из вышеизложенного следует, что качество растрового объемного изображения, формируемого методом ИФ, всегда выше, чем при применении других методов растровой фотографии. Зная уравнение ломаной $BCDE$ и задаваясь величиной разрешения R в сечении объемного изображения плоскостью, перпендикулярной оси z (см. рис.2, а), нетрудно определить зону пространства объемного изображения с гарантированным разрешением R в любом сечении. Если данное разрешение R будет соответствовать допустимому, то эта зона будет представлять собой глубину резко изображаемого пространства (ГРИП). Решая уравнения (5) совместно с уравнением прямой MN $x - 1/(2R) = 0$, можно определить координаты точек пересечения этой прямой с пря-

Тогда размер кружка нерезкости $\delta_x(z)$ в ИИ можно вычислить по формуле

$$\delta_x(z) = \delta_\phi V = \delta_2 V + VK_1 K_2 / R_D = \delta_2 \gamma + \gamma Z', \quad (2)$$

где $V = Z' / (-Z_0)$ – увеличение растра для данного сечения ИИ, причем Z_0 – расстояние между плоскостью растра и фотослоем, Z' – расстояние между плоскостью растра и анализируемой плоскостью.

При этом суммарная угловая разрешающая способность съемочной и проекционной растровых систем определяется из выражения:

$$\gamma = K_1 K_2 / [R_D (-Z_0)]. \quad (3)$$

Поскольку при восстановлении происходит дополнительное размытие ИИ связанное как с расширением каждого отдельного пучка, так и с неточностями суммирования этих пучков, то слабое VK_1 / R_D следует умножить на коэффициент K_2 , учитывающий эти явления, т.е. оно будет равно $VK_1 K_2 / R_D$.

Важной особенностью формул (2) и (3) является то, что все входящие в них переменные легко вычисляются или определяются экспериментально в отличие от выражений аналогичного типа, предлагавшихся другими авторами. Зная величину $\delta_x(z)$, можно приступить к нахождению разрешающей способности в сечениях ИИ. Назовем такую зависимость распределением разрешающей способности по пространству ИИ. В результате окажется, что границы наиболее узких мест пересечений этих пучков, т.е. поперечные размеры $\delta_x(z)$ кружков нерезкости, лежат на поверхности пространственной фигуры, образованной вращением ломаной $BCDE$ (рис.2, а) вокруг оси z . Ломаная будет состоять из прямых BC , CD и DE , описываемых соответствующими уравнениями, из которых следуют зависимости, определяющие распределение разрешающей способности по пространству ИИ:

$$\begin{aligned} R_1 &= 0.5[d - z'(0.5\gamma + d/z'_0)]^{-1} & \text{при } z' < 0; \\ R_2 &= 0.5[d + z'(0.5\gamma + d/z'_0)]^{-1} & \text{при } 0 < z' < z'_0; \\ R_3 &= 0.5[-d + z'(0.5\gamma - d/z'_0)]^{-1} & \text{при } z' > z'_0. \end{aligned} \quad (4)$$

ЛЭ растра, технология изготовления последнего, характеристики фотослоя и точность расположения его относительно растра.

Определим поперечный размер $\delta_x(z)$ пятна нерезкости, являющегося ИИ точечного объекта A (рис.1). Пусть РФС (растровая фокусирующая система) фотографируется точечный объект A' . При этом растр сфокусирован на плоскость наводки H' , а объект лежит в произвольной плоскости. Величину $\delta_x(z)$ можно определить пересечением двух пучков и для идеальной РФС она не зависит от их числа.

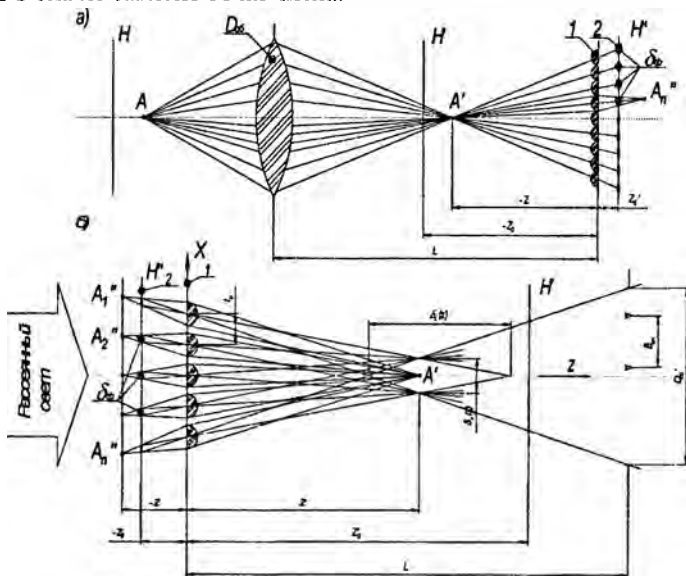


Рисунок 1 – Формирование точечного объекта:

а – этап съемки; б – этап восстановления;

1 – растр; 2 – фотослой; H, H', H'' – сопряженные плоскости;

$D_{об}$ – объектив; $D'_{об}$ – ИИ выходного зрчка объектива

На стадии восстановления каждое микроизображение проецируется в плоскость наводки H' (рис.1, б). При этом оказывается, что в плоскости, где при съемке находился точечный объект A' , локализуется наиболее узкое место пересечений пучков, идущих от разных ЛЭ, которое глаз принимает за ИИ точки A .

**Анализ критериев качества в растровых системах
объемного изображения**

Артюхина Н. К., Зайцева Е. Г., Михаленок Е. В.
Белорусский национальный технический университет

Получение объемного изображения хорошего качества всегда являлось одной из наиболее сложных задач растровой фотографии и проекции. По поводу факторов, влияющих на качество изображения в течение многих лет высказывались самые разнообразные точки зрения, в том числе и абсолютно полярные. Основным фактором, определяющим качество ИИ, является разрешающая способность фотослоя или, точнее, системы ЛЭ-фотослой. Оказалось, что разрешающую способность R в ИИ можно непосредственно связать с легко определяемой величиной фотографической разрешающей способности R_Φ системы ЛЭ-фотослой на стадии съемки простой зависимостью

$$R = K_B K_H V R_\Phi, \quad (1)$$

где K_B – коэффициент, учитывающий влияние схемы восстановления ИИ; K_H – коэффициент, учитывающий влияние наложения элементарных изображений при восстановлении ИИ; V – увеличение линз раstra для данного сечения ИИ.

Данная формула проста и удобна для предварительных расчетов, однако недостатком её является то, что в ней слишком большой вес придается коэффициентам K_B и K_H экспериментальное определение которых трудоемко.

Последние работы в этой области показали, что хорошее совпадение результатов расчетных и экспериментальных оценок качества ИИ как места пересечения пучков лучей, идущих от различных линзовых элементов и изображающих эту точку. Исследования последних лет позволили предположить, что наиболее важным параметром многозвенного процесса ИФ (интегральной фотографии) является фотографическая разрешающая способность системы элемент раstra-фотослой, а также ряд величин, определяемых расстоянием от плоскости наводки раstra до анализируемой плоскости объекта съемки. Важно то, что фотографическая разрешающая способность системы элемент раstra-фотослой является комплексным критерием, зависящим от многих параметров ПФС, таких, как дифракция и аберрации

Экспериментально установленные закономерности изменения производительности процесса и качества детали в зависимости от режимов обработки, представленные на рис.3 в виде кривых 1, 2 и 3, согласуются с теоретическими расчетами, приведенными соответственно на рис.1 и на рис.2.

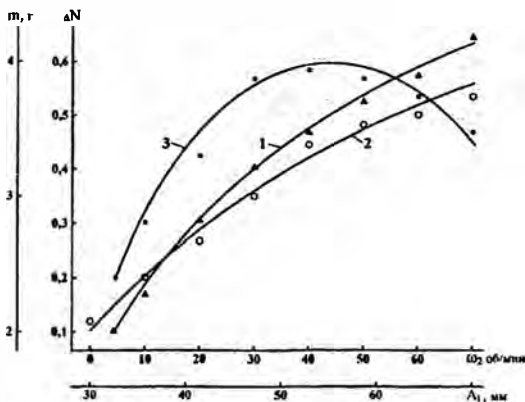


Рис. 3

На основе изложенного можно сделать вывод о том, что разработанная математическая модель позволяет с помощью ЭВМ выявить наиболее выгодные параметры процесса одновременной двусторонней обработки прецизионных двояковыпуклых линз с точки зрения достижения высокой производительности формообразования и минимальных значений кинематической составляющей локальных погрешностей на исполнительных поверхностях детали.

Литература

1. Козерук, А. С. и др. Заявка № а20041220 от 23.12.04 г. на выдачу патента РБ на изобретение «Устройство для одновременной двусторонней обработки оптических деталей с выпуклыми поверхностями».
2. Зубаков, В. Г. Технология оптических деталей / В. Г. Зубаков [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 368 с.
3. Козерук, А. С. Формообразование прецизионных поверхностей / А. С. Козерук. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ, 1997. – 176 с.

из сравнительного анализа рисунков 1 и 2, следует применять максимально возможные значения ω_0 и минимальные ω_2 .

Анализ теоретических исследований зависимости производительности обработки от амплитуды возвратно-вращательного движения инструмента показывает, что уменьшение A_1 от 70 до 30 мм приводит к увеличению времени обработки в 1,8 раза. Снижается, как показали расчеты, и качество детали. Поэтому на практике следует стремиться работать на максимально возможных значениях амплитуды A .

Для проверки степени адекватности созданной математической модели результатам реальной обработки проведены экспериментальные исследования процесса шлифования и полирования линзы из оптического стекла марки Ф101 с теми же геометрическими параметрами, что и в вышеприведенных теоретических расчетах. При этом обработке подвергалась поверхность детали с $R_f = 71,26$ мм.

Шлифование выполняли при неограниченной подаче абразивной суспензии микропорошка М10 на основе электрокорунда белого, удельном давлении 100 г/см^2 и $\omega_0 = 50$ об/мин, изменяя ω_2 в пределах от 5 до 70 об/мин, а амплитуду A_1 – в диапазоне 30 ± 70 мм.

На стадии полирования удельное давление составляло 40 г/см^2 , $\omega_0 = 40$ об/мин, подача полирующей суспензии – ручная. Скорость ω_2 изменяли от 5 до 70 об/мин.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис.3. Анализ полученных закономерностей показывает, что на стадии шлифования при $A_1 = 70$ мм, $\omega_0 = 50$ об/мин и изменении скорости ω_2 от 5 до 70 об/мин величина съема припуска увеличивается более чем в два раза (кривая 1). Если же шлифование выполнять при $\omega_0 = 80$ об/мин и $\omega_2 = 30$ об/мин, а изменять амплитуду возвратно-вращательного перемещения инструмента, то с увеличением последней от 30 до 70 мм производительность возрастает в два раза (кривая 2).

Полирование детали при $\omega_0 = 40$ об/мин, $A_1 = 70$ мм и изменении ω_2 показало, что с повышением последней до 40 об/мин происходит увеличение ΔN (кривая 3), т.е. качество обработки ухудшается. При $\omega_2 = \omega_0 = 40$ об/мин ΔN достигает максимального значения, а затем уменьшается.

На стадии проведения теоретических исследований использовались следующие исходные данные: диаметр детали 90 мм, радиусы кривизны $R_1 = 71,26$ мм и $R_2 = 149,58$ мм, диаметр инструментов 80 мм, а $\omega_{и,2} = 0,83 \omega_б$.

Значение параметров $\Delta l_{отн}$ и t , рассчитанные для первой поверхности линзы при $A_1 = 70$ мм и изменениях $\omega_б$ в пределах от 30 до 95 об/мин и ω_2 от 5 до 70 об/мин, приведены на рис.1 и 2 соответственно.

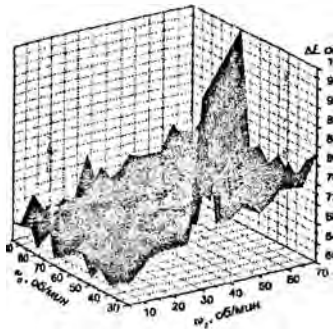


Рис.1

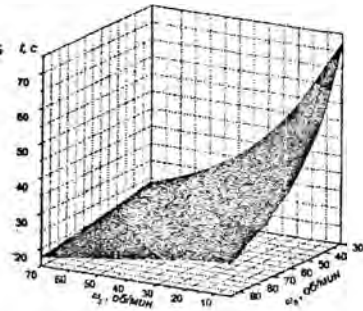


Рис.2

Из рис.1 следует, что распределение $\Delta l_{отн}$ представляет собой наклонную в сторону малых величин ω_2 рельефную поверхность с преимущественно хаотичным расположением экстремальных значений. Закономерным является наличие максимумов при $\omega_б = 75$ об/мин для всего исследуемого диапазона ω_2 , а также 100 %-е значение $\Delta l_{отн}$ в случаях, когда $\omega_2 = \omega_б$. Последнее свидетельствует о том, что имеются точки детали, которые за время обработки не попадают в контакт с инструментом и для них $l_{min} = 0$. Это значит, что во избежание снижения качества формообразования устанавливать одинаковые скорости вращения детали и входного звена исполнительного механизма станка, а также $\omega_б = 75$ об/мин, нежелательно.

Что касается времени обработки, то его значения, как видно из рис. 2, составляют гладкую поверхность с резким углом наклона в сторону больших величин скоростей $\omega_б$ и ω_2 . Как видно

Оптико-электронные и лазерные приборы и системы

УДК 681.7.023.72

Исследование процесса двусторонней обработки линз

Зайцев М. В., Козерук А. С., Кузнецик В. О.

Белорусский национальный технический университет

Для реализации технологии одновременной двусторонней обработки линз разработано устройство, которое монтируется на серийные шлифовально-полировальные или полировально-доводочные станки моделей ШП или ПД.

Обработка на устройстве происходит в условиях свободного притирания, поэтому величину таких наладочных параметров, как амплитуд A_1 и A_2 возвратно-вращательных перемещений инструментов, а также скоростей вращения детали ω_0 и входного звена исполнительного механизма базового станка ω_2 в каждом конкретном случае определяет рабочий-оптик методом подбора, исходя из своего опыта и интуиции. С целью уменьшения затрат времени на поиск наиболее выгодных режимов работы технологического оборудования выполнено математическое моделирование процесса обработки, которое позволяет с помощью ЭВМ рассчитать характер распределения путей трения (резания) l точек детали относительно инструмента в зависимости от величины наладочных параметров.

Используя разработанную математическую модель и выполнив соответствующие расчеты, получим матрицу путей трения l_{ij} опорной точки M_{ij} на поверхности линзы за время обработки t . Тогда вычисленный по формуле

$$\Delta l_{\text{отн}} = \frac{l_{\text{max}} - l_{\text{min}}}{l_{\text{max}}} \cdot 100.$$

Параметр $\Delta l_{\text{отн}}$ можно применить для оценки качества детали по локальным погрешностям, а время t , в течение которого среднее значение пути трения $l_{\text{cp}} = \Sigma l_{ij} / K^2$ опорной точки достигает заданной величины, будет характеризовать производительность процесса.

вектор $\vec{\omega}_ш$ равномерно поворачивается на 360° за каждый его оборот. Следовательно, мгновенная ось вращения шарика постоянно изменяет свое положение относительно инструмента.

В процессе обработки каждый шарик действует на верхний диск с силой трения, направленной параллельно вектору $\vec{V}_{отн}$. Равнодействующая этих сил проходит через ось диска, поэтому относительно сепаратора верхний диск неподвижен.

При вращательном движении нижнего диска и сепаратора с одинаковой угловой скоростью, в относительном движении реализуется поступательное движение инструмента по окружности. Такая кинематика инструмента обеспечивает одинаковые условия шлифования для всех шариков в обрабатываемой партии. Допустимая скорость вращательного движения значительно выше скорости плоскопараллельного движения и, следовательно, интенсивность обработки может быть повышена.

Торможение верхнего диска позволяет увеличить скорость проскальзывания шариков в зоне обработки. Скорость съема припуска возрастает, однако величина скорости проскальзывания зависит от расположения шарика в сепараторе, что вызывает неравномерность обработки заготовок.

Экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность применения рассмотренной установки при обработке шариков из минерального сырья. Например, при шлифовании шариков из кварца, имеющих отклонения от сферической формы 1,4 – 1,7 мм при среднем диаметре 11 мм, через три часа обработки разноразмерность шариков составила 0,3 мм, а отклонение от сферической формы не превышало 0,2 мм. При обработке использовалась абразивная суспензия порошка карбида кремния зеленого зернистостью 12.

Выводы

1. В разработанной установке используется вращательное движение инструмента, что упрощает ее конструкцию и позволяет вести обработку на повышенных скоростях по сравнению со станками с плоскопараллельным движением инструмента.

2. Установка дает возможность обрабатывать заготовки со значительными отклонениями от сферической формы.

O_n на оси вращения нижнего диска; R_c - радиус-вектор, проведенный из точки O_c на оси вращения сепаратора.

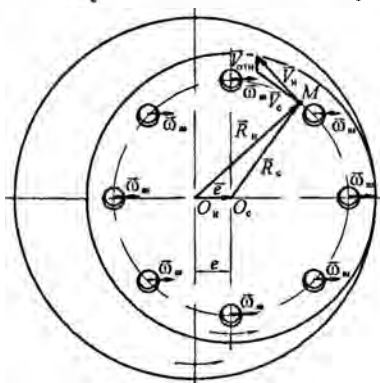


Рис. 2. Кинематика шариков в рабочей зоне

При равенстве угловых скоростей нижнего диска и сепаратора, т.е. $\bar{\omega}_n = \bar{\omega}_c = \bar{\omega}$ относительная скорость равна

$$\vec{V}_{отн} = \bar{\omega} \times (\vec{R}_n - \vec{R}_c) = \bar{\omega} \times \vec{e},$$

где \vec{e} - вектор, соединяющий оси вращения нижнего диска O_n и сепаратора O_c .

Следовательно, нижний диск относительно сепаратора движется поступательно по окружности радиусом e . Поскольку коэффициент трения шара об эластичное покрытие нижнего диска намного больше коэффициента трения о верхний диск, то линейная скорость точки шара, контактирующей с нижним диском, в относительном движении равна относительной скорости $V_{отн}$. Угловая скорость вращения шара будет равна

$$\omega_{ш} = V_{отн} / r,$$

где r - радиус шара.

Вектор угловой скорости шара $\bar{\omega}_{ш}$ перпендикулярен вектору $\vec{V}_{отн}$ и поэтому для всех обрабатываемых шариков направлен параллельно линии $O_n O_c$. Относительно вращающегося сепаратора

самоустановке параллельно торцевой поверхности нижнего диска.

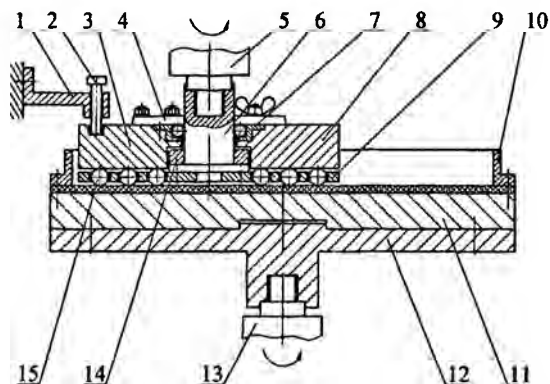


Рис. 1. Инструмент для грубого шлифования шариков

На оправке 6 установлено кольцо 14, которое дает возможность регулировать натяг между заготовками и верхним диском. Шлифование шариков можно производить при свободно вращающемся и неподвижном верхнем диске. Для фиксации верхнего диска используют съемный кронштейн 1 выдвигной палец 2 которого входит в отверстие на верхнем диске. Кольцо 10 предотвращает выход абразивной суспензии из рабочей зоны. Нагрузка на шарики определяется весом верхнего диска и может быть увеличена с помощью сменных грузов. Сборная конструкция верхнего диска облегчает загрузку заготовок.

Обработка шариков, расположенных в приводном сепараторе, происходит вследствие разности линейных скоростей нижнего диска и сепаратора. Скорость некоторой точки M нижнего диска (рис. 2) относительно вышерасположенной точки на сепараторе равна

$$\vec{V}_{отн} = \vec{V}_н - \vec{V}_с = \vec{\omega}_н \times \vec{R}_н - \vec{\omega}_с \times \vec{R}_с,$$

где V_n и V_c – линейные скорости нижнего диска и сепаратора; $\vec{\omega}_н$ и $\vec{\omega}_с$ – векторы угловой скорости нижнего диска и сепаратора; R_n – радиус-вектор точки M , проведенный из точки

УДК 679.87

**Установка для грубого шлифования шариков из хрупких
неметаллических материалов**

Щетникович К. Г.

Белорусский национальный технический университет

В оптических и измерительных приборах, в ювелирных изделиях используют шарики из стекла, кварца, корунда и других минералов и синтетических камней. Заготовки, поступающие на операцию грубого шлифования, имеют значительные отклонения от сферической формы, а после ее выполнения должны иметь геометрические параметры одного уровня точности.

В оптическом производстве применяется станок для грубого шлифования шариков, который содержит два несоосных абразивных круга, вращающихся в противоположных направлениях, и эксцентрично расположенный приводной сепаратор. Станок предъявляет жесткие требования к точности исходных заготовок, так как в момент входа шариков в зазор между дисками на них действуют большие динамические нагрузки. В ювелирном производстве, обработку шариков осуществляют в неподвижном сепараторе между совершающим плоскопараллельное движение по окружности нижним диском с эластичным покрытием и верхним прижимным диском. Однако скорость кругового поступательного движения нижнего диска ограничена неуравновешенностью масс движущихся тел, поэтому невозможно применение интенсивных режимов обработки.

С учетом недостатков рассмотренных станков была разработана установка для грубого шлифования шариков между двумя несоосными дисками в приводном сепараторе. Конструкция применяемого инструмента, показана на рис. 1. Нижний диск 11, имеющий резиновое покрытие, вместе с оправкой 12 закреплен на нижнем шпинделе 13. На верхнем шпинделе 5 закреплена оправка 6 с сепаратором 9 в отверстиях которого размещены обрабатываемые шарики 15. Соосно с сепаратором на насыпном подшипнике 7 установлен верхний диск, состоящий из двух полудисков 3 и 8, скрепленных двумя планками 4,. Насыпной подшипник обеспечивает соосность сепаратора и верхнего диска и не препятствует его

Набегание шарика на сепаратор определяют по формуле:

$$W = \left(\frac{D_s}{2} + r_s + \frac{d}{2} \right) \frac{r_b \sqrt{e(2r_m - e)}}{r_m (r_m - e)} \sin \varphi,$$

где $r_m = (r_b + r_n - d)$.

Таким образом, зная показатели кинематики и контактного взаимодействия элементов подшипника, можно вычислить интенсивность съема припуска с шариков при восстановлении.

Литература

1. Савченко, А. Л. Восстановление точностных параметров радиально-упорных шарикоподшипников / А. Л. Савченко, Н. Т. Минченя // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2005. – №6. – С. 93 – 97.
2. Способ восстановления работоспособности радиально-упорного шарикоподшипника: пат. 8942 Респ. Беларусь, МПК В 23 Р 6/00 / Минченя Н. Т., Савченко А. Л.; заявитель Бел. нац. техн. ун-т. – №а20031181; заявл. 16.12.2003; опубл. 28.02.2007 //Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2007.
3. Способ доработки подшипников качения в собранном виде: заявка №2001120809/28 РФ, МПК F 16 C 1/00 / Давиденко О. Ю., Колесников М. А., Решетников М. К. – Заявл. 2001.07.24. опубл. 2003.07.10.
4. Курушин, М. И. Определение усилий и прочности сепаратора шарикоподшипника в условиях перекося колец / М. И. Курушин, А. И. Дубровкина, А. Н. Калгин // Сб. науч. тр. / Куйбышевский авиационный ин-т им. С. П. Королева. – 1969. – Вып. 40. – С. 117 – 140.
5. Филонов, И. П. Механика процессов обкатки / И. П. Филонов; под ред. П. И. Ящерицына. – Минск: Наука и техника, 1985. – 328 с.
6. Савченко, А. Л. Работа радиально-упорного подшипника в условиях осевых колебаний / А. Л. Савченко // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2005. – №1. – С. 35 – 38.
7. Савченко, А. Л. Исследование износа радиально-упорных шарикоподшипников / А. Л. Савченко, Н. Т. Минченя // Вестник БНТУ. – 2006. – №3. – С. 60 – 64.

где $\overline{\omega}_k$ – угловая скорость качения, вектор которой направлен перпендикулярно плоскости контакта; $\overline{\omega}_v$ – угловая скорость вращения, вектор которой находится в плоскости контакта; $\overline{\omega}_{кр}$ – угловая скорость кручения, вектор которой также находится в плоскости контакта [5]. В подшипнике составляющая $\overline{\omega}_{кр}$ равна нулю, что является причиной неравномерного износа в процессе работы или неравномерного съема материала в процессе восстановления. Использование ультразвуковых колебаний позволяет добиться условий, при которых $\overline{\omega}_{кр} \neq 0$. Определение значения $\overline{\omega}_{кр}$ показано в работах [1, 6].

Составляющая $\omega_{кр}$, т.е. угловая скорость кручения в произвольный момент времени зависит от угла контакта и для различных шариков будет различной. Для одного и того же шарика она будет изменяться в процессе орбитального движения так же, как и угол контакта, со сменой направления вращения. На величину съема материала будет влиять только скорость кручения, направление не имеет значения. Следовательно, считая закон изменения $\omega_{кр}$ синусоидальным, можно предположить, что средняя скорость кручения шарика определяется как $\omega_{кр}^{max} / \sqrt{2}$. Максимальная скорость кручения рассчитывается так же, как и для радиально-упорного подшипника, т. е. по формулам, приведенным в работах [1, 6]. Все остальные показатели кинематики и контактного взаимодействия элементов подшипника определяются аналогично методикам, приведенным в работе [7]. Силу взаимодействия тел качения с сепаратором, в контакте с которым снимается основная часть припуска, можно найти из формул, приведенных в [4]:

$$P = \frac{W(EI)_{cp}}{0,126R^3},$$

где W – набегание шарика на сепаратор (разность путей, пройденных шариком и сепаратором); $(EI)_{cp}$ – средняя жесткость колец сепаратора; R – средний радиус колец сепаратора.

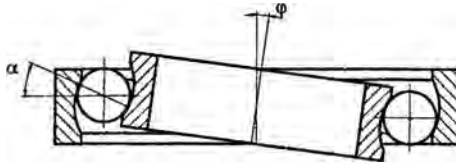


Рисунок 1 – Перекос колец в радиальном подшипнике

Вращение кольца, подвергнутого перекоосу, происходит вокруг наклоненной оси, описывающей конус с вершиной в центре симметрии подшипника. Вследствие этого шарики в процессе сферического движения обкатываются по всей поверхности дорожек качения. Сферическое движение в этом случае можно описать так же, как и в радиально-упорном подшипнике, однако угол контакта в этом случае будет непостоянным. При орбитальном движении шарика угол контакта за один оборот будет меняться от максимального до нуля, затем снова до максимального с противоположным знаком, затем снова до нуля и снова до максимума. Максимальный угол контакта α_{\max} можно определить по формуле [4]:

$$\alpha_{\max} = \arccos \left(\frac{A \cos \varphi - \left(\frac{D_{\text{в}}}{2} + d + e - r_{\text{н}} \right)}{\sqrt{(A \sin \varphi)^2 + \left[A \cos \varphi + \left(\frac{D_{\text{в}}}{2} + d + e - r_{\text{н}} \right) \right]^2}} \right),$$

где $A = \frac{D_{\text{в}}}{2} + r_{\text{в}}$; $D_{\text{в}}$ – диаметр по дну дорожки качения внутреннего кольца, $r_{\text{в}}$, $r_{\text{н}}$ – радиусы желобов внутреннего и наружного колец.

Как известно, при вращении колец подшипника шарик совершает сложное движение, состоящее из движения центра шарика по окружности, и сферического, т. е. вращения шарика вокруг собственной оси. Сферическое движение раскладывается на три составляющих:

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_{\text{к}} + \vec{\omega}_{\text{в}} + \vec{\omega}_{\text{кр}},$$

УДК 621.822

Восстановление точностных параметров радиальных шарикоподшипников

Минченя Н. Т., Савченко А. Л.

Белорусский национальный технический университет

Несколько лет назад авторами был предложен способ восстановления радиально-упорного шарикоподшипника [1, 2]. Способ предназначен для восстановления прецизионных подшипников, вышедших из строя по точности вращения и не имеющих усталостных повреждений. Как показывает практика, преобладающим дефектом таких подшипников является абразивный износ деталей, в первую очередь шариков. Суть способа заключается в обкатке подшипника в среде абразива с составом, аналогичным составу для доводки шариков. Так как шарик в радиально-упорном подшипнике имеет двухосное вращение, то для управления кинематикой шариков и получения их точной сферической формы используются ультразвуковые колебания, приложенные к одному из колец.

В отличие от радиально-упорного, радиальный подшипник работает всем профилем дорожки качения, вследствие чего износ дорожек качения является более обширным по площади. При восстановлении радиального подшипника методом обкатки требуется, чтобы шарики обкатывались по всей поверхности желоба. В способе доработки подшипников в собранном виде [3] этого добиваются с помощью перекоса колец. Угол перекоса (рисунок 1) определяют по формуле:

$$\varphi = \frac{4\sqrt{(2r_{\text{ж}} - D_{\text{w}})(e + \Delta e)}}{D + d},$$

где e – исходный радиальный зазор; Δe – увеличение радиального зазора в процессе приработки; D и d – посадочные диаметры подшипника; $r_{\text{ж}}$ – радиус желоба; D_{w} – диаметр шарика.

акустический параметр, влияющий на показатели обработки, и свидетельствующий о возможности управления процессом ультразвуковой обработки для повышения точности геометрической формы обработанных поверхностей за счет оптимального выбора относительного расположения контактируемых поверхностей. Процесс абразивной обработки сопровождается одновременным улучшением качества обработанной поверхности, обусловленной высокочастотным воздействием инструмента через абразивную прослойку в зоне контакта [1,2]. При этом показатели производительности, т.е. съема материала в единицу времени, определяются совместным действием как технологических, так и акустических (частотой и амплитудой ультразвуковых колебаний) факторов.

Для проведения исследований процессов абразивной обработки цилиндрических тел и шариков был разработан настольный станок с вертикальной осью вращения. В шпинделе станка был встроены пьезокерамический преобразователь ультразвуковых колебаний с коническим волноводом, на котором закрепляется шлифовальный круг с алмазонасным слоем, диаметром 250мм. На инструменте возбуждалась резонансная изгибная волна частотой 18 кГц с одним узлом колебаний. Верхний диск выполнен в поперечном сечении по нерабочей стороне в форме гиперболы. Он закрепляется на стойке и имеет возможность эксцентричного смещения в горизонтальной плоскости.

Литература

1. Киселев, М. Г. Ультразвук в поверхностной обработке материалов / М. Г. Киселев, В. Т. Минченя, В. А. Ибрагимов. – Мн.: Тесей, 2001 г.
2. Луговой, В. П. Автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. П. Луговой. – Минск, 1981 г.
3. Устройство для доводки шариков: а. с. 664824 СССР, В24В,11/02. / М. Г. Киселев, М. Ю. Пикус, В. П. Луговой. Б. Д. Дисон.
4. Способ доводки тел вращения: а. с. 1794630 СССР, В24В,11/02 / В. П. Луговой.
5. Способ доводки отверстий: а. с. 1189577 СССР, В24В,11/02 / В. П. Луговой.

Эта цель достигается соответствующим расположением обрабатываемых изделий относительно гармонической волны ультразвуковых колебаний в материале инструмента. Детали с седлообразностью (рис.2а) ориентируются относительно ультразвуковой волны так, чтобы их середина совпадала с узлом данной волны, т.е. в сечении с минимальной амплитудой колебаний. При доводке бочкообразных деталей (рис.2б) их середина располагается против пучности волны. Образование же бочкообразности требует их смещения в зону узла колебаний упругой волны (рис.2г).

Устранение погрешностей формы отверстий в продольном направлении имеет те же закономерности взаимного расположения детали и инструмента (рис.3). В инструменте 1 возбуждается продольная звуковая волна 4 от источника колебаний 2. Седлообразные изделия 3 (рис.3а) предварительно отобранные для обработки должны быть расположены в пучности колебаний с максимальной амплитудой колебаний в среднем сечении, а бочкообразные (рис.3б) – в узле, что, в конечном счете, обеспечивает выравнивание погрешности формы.

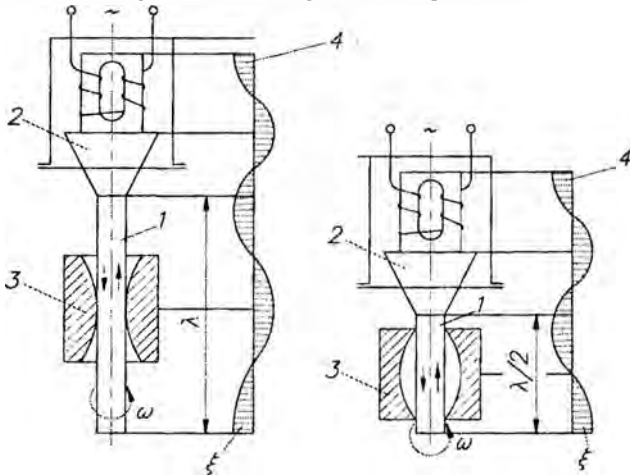


Рис. 3 Способ доводки отверстий с ультразвуком

Во всех приведенных схемах обработки используется волновой характер распространения упругой волны, как

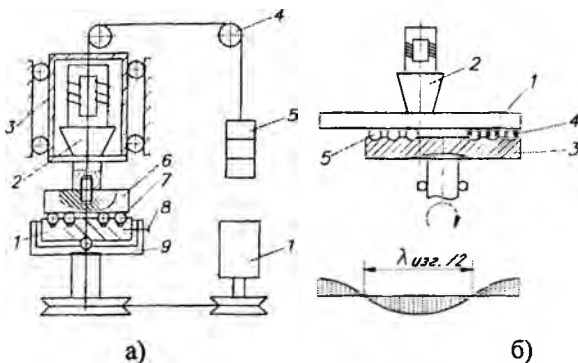


Рис. 1 Схемы обработки шариков с ультразвуком

деталей цилиндрической формы представлена на рис. 2. Один из инструментов соединен с источником колебаний 3 и возбуждает в нем акустическую изгибную волну 2. Изделия 4 уложенные в сепаратор 5, прижимаются диском 6 с усилием P . Способ позволяет устранить возникающие на предыдущих операциях отклонения формы изделий в продольном направлении: седлообразность, конусность, бочкообразность, или решить обратную задачу, т.е. образовать бочковидную форму.

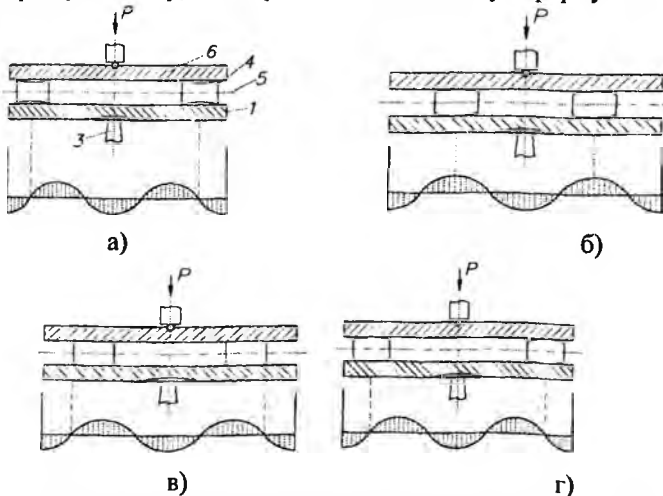


Рис.2 Схема обработки цилиндрических тел вращения

УДК 621.1: 679.8

**Способы управления точностью геометрической формы
деталей при обработке с ультразвуком**

Луговой В. П.

Белорусский национальный технический университет

Использование ультразвука при доводке в силу особенностей воздействия в зоне контакта детали и инструмента позволяет улучшить показатели точности и качества поверхности, интенсифицируя сам процесс обработки. Показатели точности обработки достигаются комплексным управлением технологическими (скорость, давление, материала и размер абразивного зерна) и акустическими (амплитуда и частота колебаний) факторами. Каждый из них может оказывать благоприятное воздействие в определенных диапазонах и сочетаниях численных значений. Особый интерес при этом, представляет возможность управления процессом обработки воздействием ультразвука на динамику и кинематику скольжения контактирующих поверхностей [1]. Были исследованы процессы обработки деталей, представляющие форму плоских, конических и сферических поверхностей. При доводке шариков характер движения изделий определяется относительным расположением изделий относительно стоячей волны, возбуждаемой в материале инструмента [2]. Различные значения действующей амплитуды колебаний над каждой из дорожек качения шариков приводят к различным величинам точности, их размеров в каждой дорожке (рис.1а). Однако смещение оси вращения нижнего диска 3 относительно оси гармонических колебаний, возбуждаемый источником колебаний 2 в верхнем диске позволяют управлять этим процессом и достигать одинаковые показатели точности и производительности во всех дорожках качения (рис.1б). Очевидно, что это достигается изменением направления вращения шариков вокруг своих осей при пересечении различных зон акустической волны.

Возможность управляющего действия ультразвука при обработке

Анализ выражения для ошибки скорости в системе «наблюдатель-зритель» показывает, что при постоянном значении фокусного расстояния ошибка пропорциональна фокусному расстоянию и обратно пропорциональна ширине матрицы или пленки и относительной удаленности зрителя от экрана. Для обычных фокусных расстояний в цифровой видеокамере (менее 40-80 мм) относительная ошибка отрицательна. Это означает, что скорость изменения изображения на сетчатке зрителя по абсолютной величине меньше, чем на сетчатке наблюдателя. Этот эффект проявляется наиболее сильно для близко расположенных зрителей. Расчеты показали, что при увеличении фокусного расстояния в процессе съемки крутизна графиков уменьшается.

Ошибка по скорости в системе «оператор – зритель» определяется удаленностью зрителя от экрана для заданных расстояния наилучшего зрения и ширины дисплея камеры. Увеличение расстояния между зрителем и экраном уменьшает ошибку.

Очевидно, что при равенстве 0 ошибок можно определить оптимальные условия съемки (расположение камеры относительно объекта и наблюдателя), параметры съемки (начальное фокусное расстояние и скорость его изменения), параметры камеры (размер дисплея, и светочувствительной матрицы), оптимальное расположение зрителя относительно экрана.

Сравнение зависимостей положения зрителя от фокусного расстояния при нулевых ошибках размеров и скоростей свидетельствует, что они не идентичны, т.е. нельзя подобрать такие условия съемки и наблюдения, чтобы зритель одновременно воспринимал размер и осевую скорость объекта так же, как и наблюдатель.

Ошибка скорости в системе «оператор-зритель» вычисляется по той же формуле, что и ошибка размера, поэтому для данной системы существует возможность идентичного восприятия изображения.

оператор, в задних – меньшим, причем ошибка в первых рядах по абсолютной величине больше чем в задних.

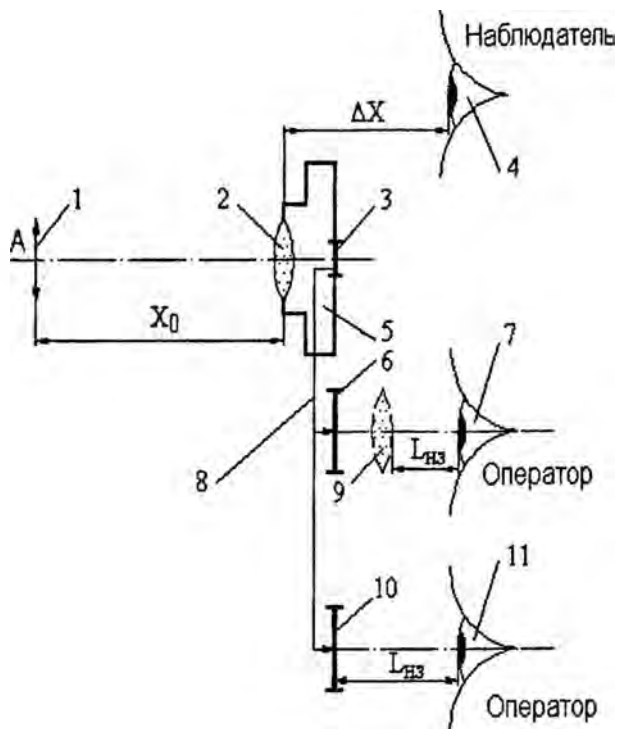


Рис.1. Схема размещения аппаратуры, наблюдателя и оператора относительно объекта: 1 – объект съемки, 2 – объектив кино- или видеокамеры, 3 – глаз наблюдателя, 4 – светочувствительная матрица или киноплёнка, 5 – кино- или видеокамера, 6 – плоскость оптического изображения в визирном устройстве, 7 – глаз оператора, 8 – электронный или оптический канал передачи изображения в визирное устройство для оператора, 9 – лупа визирного устройства, 10 – дисплей, 11 – глаз оператора

наблюдающим объект на видоискателе камеры, и зрителем, расположенным на определенном расстоянии от экрана. На рис. 1 показана схема размещения объекта, объектива камеры, оператора и наблюдателя.

В соответствии с законами геометрической оптики были получены уравнения, связывающие размер объекта съемки с размером его на сетчатке наблюдателя, оператора, и зрителя, рассматривающего изображение на плоском экране.

Дифференцированием формул по времени были получены соотношения, связавшие скорость перемещения объекта и скорость изменения размера его изображения на сетчатке трех вышеупомянутых субъектов. Значения скоростей отрицательны, т.к. при удалении объекта его размеры на матрице или пленке и сетчатке глаза уменьшаются. Результаты дифференцирования были использованы при вычислении относительных ошибок в системах «наблюдатель - оператор», «оператор – зритель», «наблюдатель – зритель».

Ошибки первой группы характеризуют искажения, вносимые объективом. Ошибки второй группы важны при съемках для научных целей, так как показывают, насколько изменяется осевая скорость объекта при восприятии на экране относительно восприятия в реальных условиях. Ошибки третьей группы интересны при художественной съемке: они характеризуют искажения, обусловленные разницей в условиях наблюдения для оператора, реализующего свой художественный замысел, и зрителем, воспринимающим результат творчества оператора.

Ошибка в системе «наблюдатель - оператор» пропорциональна ширине дисплея камеры, обратно пропорциональна расстоянию наблюдения для оператора и ширине матрицы. С увеличением фокусного расстояния объектива абсолютная величина ошибки растет. Идентичность восприятия размеров оператором и зрителем зависит от размеров наблюдаемого оператором изображения. Для цифровой камеры зритель, воспринимающий изображения как оператор, находится на пятикратном удалении от экрана, а для аппарата «Конвас-автомат» - на двукратном. В первых рядах зрительного зала зритель видит изображение большим, чем

УДК 681.77

Влияние параметров фокусировки при записи изображения на восприятие движения объектов

Зайцева Е. Г., Никитин В. В.

Белорусский национальный технический университет

При рассмотрении объектов в окружающем пространстве воспринимать глубину изображения человеку помогают три основных механизма – аккомодация (фокусировка глаза на определенное расстояние), конвергенция (поворот оптических осей глаз до пересечения на рассматриваемой точке) и диспаратность (несимметричность оптических изображений объекта на сетчатках левого и правого глаз). При изменении точки зрения содержание изображений объекта на сетчатках изменяется, он воспринимается в новом ракурсе. Когда зритель рассматривает воспроизведенное на плоском экране изображение, конвергенция и аккомодация осуществляется на плоскость экрана, при изменении точки зрения эффект диспаратности не действует. Поэтому восприятие объемности изображения достигается за счет вторичных эффектов: изменение увеличения по глубине пространства, заслонения дальних объектов ближними, воздушной дымки и т.д.

Кроме нарушения восприятия объемности, используемые в настоящее время методы записи и воспроизведения изображений приводят к изменению воспринимаемых зрителем размеров изображения и скоростей перемещения изображений вдоль оптической оси по сравнению с этими параметрами для реальных объектов. Если материал снят для художественных целей, это вполне допустимо, даже иногда желательно для создания определенных эффектов. Если же запись зрительной информации осуществляется для исследовательских целей, такие искажения могут привести к ошибкам в анализе, их необходимо учитывать и по возможности компенсировать.

В настоящей работе проведен анализ искажений, вносимых системой записи и воспроизведения информации, по параметру «скорость движения объекта вдоль оптической оси».

Проанализируем восприятие объекта или его изображения на трех стадиях: наблюдателем, находящимся на определенном расстоянии от съемочной камеры сзади, оператором,

применением распиловочных дисков толщиной исходной заготовки 0,07 мм, шаржированной на оптимальных режимах.

На рисунке 2 приведены полученные экспериментальные данные, отражающие влияние твердости образцов по шкале Мооса, на интенсивность их распиливания и значение параметра R_a шероховатости обработанных поверхностей. Как и следовало ожидать, с увеличением твердости обрабатываемого материала интенсивность его распиливания, а также высота микронеровностей на обработанной поверхности образца снижаются.

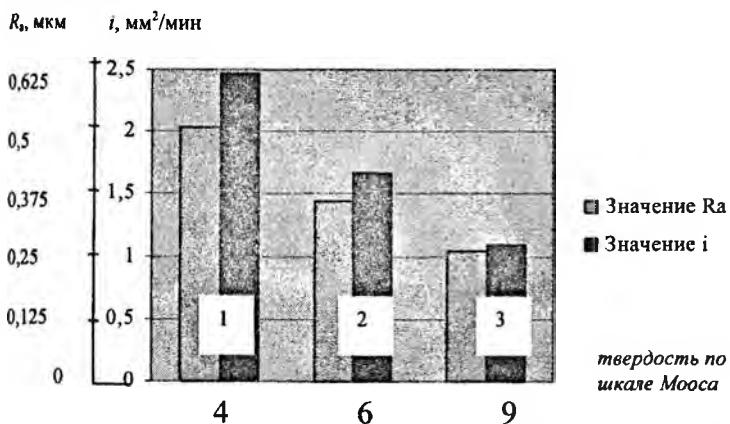


Рисунок 4.14 – Значения интенсивности распиливания и параметра шероховатости R_a обработанных поверхностей образцов с различной твердостью

Таким образом, на основании экспериментальных исследований были получены зависимости изменения режущей способности распиловочных дисков, шаржированных с ультразвуком, от статической нагрузки и количества проходов при постоянных амплитуде колебаний и частоте вращения деформирующих инструментов. На их основе определены оптимальные режимы шаржирования боковых поверхностей дисков ($A_0=6$ мкм, $P_{ст}=30$ Н, $n_{пр}=75$ об/мин, $N=3$ об), обеспечивающие наибольшее значение интенсивности распиливания заготовок из корунда ($i=1,09$ $\text{мм}^2/\text{мин}$) при высоком качестве обработанных поверхностей ($R_a=0,27$ мкм).

Следует подчеркнуть, что установленные зависимости полностью согласуются с результатами теоретических и экспериментальных исследований, полученных при изучении условий формирования алмазосодержащего слоя на боковых сторонах заготовок распиловочных дисков при их шаржировании с ультразвуком. В частности, на количество и размер алмазных частиц, закрепленных на обрабатываемых поверхностях заготовок, на изменение их массы и толщины, на абразивную способность сформированного алмазосодержащего слоя. Из обобщенного анализа этих данных следует, что во всех случаях наилучший уровень исследуемого параметра, характеризующего качество сформированного алмазосодержащего слоя, соответствует выполнению операции шаржирования при $P_{ст}=30$ Н и $N=3$.

Таким образом, полученные результаты позволяют определить оптимальные режимы шаржирования боковых поверхностей заготовок распиловочных дисков ультразвуком, при которых обеспечивается максимальная режущая способность полученных инструментов: амплитуда ультразвуковых колебаний выходного торца концентратора – 6 мкм при резонансной частоте – 18900 Гц, статическая нагрузка – 30 Н, частота вращения деформирующих инструментов – 75 об/мин и количество проходов – 3.

Для количественной оценки качества поверхности распиленных образцов использовалось значение параметра R_a ее шероховатости, которое определялось с помощью профилографа–профилометра модели 252 в направлении перпендикулярном следам обработки по всей длине диагонали образца. Полученные данные не выявили четко выраженной закономерности изменения параметра R_a при распиливании образцов дисками, шаржированными при различных значениях статической нагрузки и числе проходов. Так его значение изменялось в пределах 0,24 до 0,30 мкм, а среднее составило 0,27 мкм.

С целью определения влияния твердости обрабатываемого материала на интенсивность распиливания и качество обработанных поверхностей была проведена серия экспериментов по распиливанию образцов их стекла К8, кварца и синтетического корунда. Операция выполнялась с

режимов шаржирования, использовались распиловочные диски с толщиной исходной заготовки 0,07 мм, которые шаржировались при различных значениях статической нагрузки ($P_{ст} = 25 - 45$ Н) и количестве проходов ($N = 2 - 4$ об), но при постоянной интенсивности ультразвукового возбуждения колебательной системы ($A_0=6$ мкм) и постоянной (оптимальной) частоте вращения деформирующих инструментов ($n_{пр}=75$ об/мин). Время начала и конца операции распиливания фиксировалось по секундомеру. Далее распиленные образцы промывались, после чего на инструментальном микроскопе исследовалась обработанная поверхность и определялась ее площадь.

На рисунке 1 приведены данные, отражающие влияние величины статической нагрузки и числа проходов при шаржировании боковых поверхностей заготовок распиловочных дисков на значение интенсивности распиливания полученных инструментов. Из них видно, что максимальную интенсивность распиливания обеспечивают распиловочные диски, боковые поверхности которых шаржируются при статической нагрузке 30 Н и числе проходов, равным трем. Изменение указанных значений этих параметров в меньшую или большую сторону сопровождается снижением интенсивности распиливания.

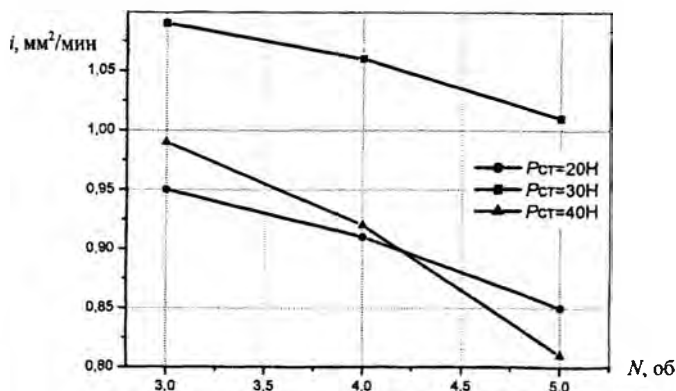


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности распиливания образцов дисками шаржированными при различной статической нагрузке и числа проходов

Конструирование и производство приборов

УДК 621.937

Определение оптимальных режимов шаржирования распиловочных дисков по их режущей способности

Киселев М. Г., Новиков А. А.

Белорусский национальный технический университет

В алмазобрабатывающей промышленности в качестве инструмента для разделения монокристаллов алмаза на части используются тонкие распиловочные диски, изготовленные из оловянисто-фосфористой бронзы. Важнейшими эксплуатационными показателями распиловочных дисков являются: режущая способность и качество поверхности распиленных заготовок (полуфабрикатов). В алмазобработке их режущую способность принято оценивать по интенсивности распиливания i , значение которой определяется отношением площади распиленной поверхности S ко времени выполнения операции T_0 ($i=S/T_0$). Качество поверхности определяется высотой микронеровностей и наличием на ней глубоких рисок, для выведения которых требуется операция подшлифовки площадок распиленных полуфабрикатов, что влечет за собой возрастание безвозвратных потерь дорогостоящего сырья.

Эксперименты по оценке влияния режимов шаржирования на уровень указанных эксплуатационных показателей распиловочных дисков проводились на специальной установке, созданной на базе секции распиловочного станка ШП-2. В качестве обрабатываемого материала использовался синтетический корунд (9 единиц по шкале Мооса). Изготовленные из него образцы, имеющие в сечении форму квадрата со стороной 4,5 мм, клеивались в специальную оправку и затем распиливались при постоянной частоте вращения испытуемого инструмента ($n_d=14000$ об/мин), постоянной статической нагрузке, равной 0,25 Н и с постоянной периодичностью подшаржирования распиловочного диска, которое составляло 5 мин.

Для проведения экспериментов по определению оптимальных

увеличится на 28°C. Приведенные значения температур незначительно отличаются от значений пороговой температуры тепловых извещателей если температура окружающей среды находится вблизи 20°C [1]. Кроме того, необходимо принимать во внимание, что чувствительность точечных дымовых извещателей сильно зависит от размера частиц дыма, их формы, цвета и т.д. Огневые испытания показывают, что такие извещатели активизируются, если потери оптического излучения в задымленной среде составят 11%/м в случае сигаретного дыма, 5%/м при горении древесины и 33%/м в случае тления хлопка.

Из приведенных результатов следует, что чувствительность дымового извещателя указанная в паспорте, т.е. полученная в дымовом канале, может сильно отличаться от его чувствительности к дыму, образовавшемуся в жилом помещении. Таким образом, системы пожарной сигнализации для жилых помещений должны информировать жильцов о пожаре, обеспечивая время на беспрепятственную эвакуацию путем применения в помещениях разного функционального назначения пожарных извещателей с учетом их селективной чувствительности.

Литература

- 1 National Fire Alarm Code. Handbook /Fourth edition. Edited by Lee F. Richardson, Wayne D. Moore, P.E.,FSFPE. –National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2004.–680p.
- 2 Weinert D. F., Cleary T. G., Mulholland G. W., Beever P. F. Light scattering characteristics and size distribution of smoke and nuisance aerosols. //Fire safety science. proceedings. seventh (7th) international symposium. International association for fire safety science (IAFSS). Jun 16–21, 2003, Worcester, MA, Intl. Assoc. for Fire Safety Science, Boston, MA, Evans D.D., Editor(s), 209–220 pp, 2003.
- 3 Grosshanler W.L. A review of measurements and candidate signatures for early fire detection. //NISTIR 5555, National institute of standards and technology, January, 1995, 32p.
- 4 Meacham B., Motevalli V., J. fire protection engineering 4, 17, 1992.
- 5 Schifiliti R.P. Fire detection modeling – the research-application gap. //Proceedings, 12th international conference on automatic fire detection, NIST Gaitherburg, Maryland, USA, March 2001, 33p.
- 6 НПБ 15-2004 Область применения автоматических систем пожарной сигнализации и установок пожаротушения: Введен в действие с 01.01.2005.– Мн., 2004.
- 7 СНБ 2.02.05-04 Пожарная автоматика. – Мн., 2004.

помещения и гостиные, отдельные квартиры в многоквартирных домах, жилая площадь в жилых блоках отелей и общежитий, детские сады, и другие, в том числе вспомогательные помещения. В зависимости от цели установки пожарной сигнализации используют несколько разновидностей «домашних» пожарных систем сигнализации (одно- или многопозиционные). Такие системы пожарной сигнализации имеют контрольное устройство (панель) и формируют сигнал тревоги в жилище с целью уведомить жильцов о пожаре таким образом, чтобы они успели беспрепятственно эвакуироваться. Во-вторых, важным является какое горение, пламенное или тлеющее, должно обнаруживаться системой пожарной сигнализации и при каком значении тепловыделения это должно произойти. Цель таких уточнений – обнаружить пожар до того как он достигнет большого тепловыделения. А ее достижение требует глубокого понимания процессов обуславливающих размещение извещателей.

Пламенной пожар является быстро развивающимся и обладает большим тепловыделением. В результате он формирует факел, который перемещает дым и горячий воздух вверх. Тлеющий пожар с малым тепловыделением, часто встречающийся в жилищах, учреждениях и помещениях коммерческого назначения, может образовать значительное количество дыма до образования факела. Такой дым, обладая малой энергией, прекратит двигаться к установленному на потолке дымовому извещателю, в случае если потолок более высок, чем ожидается (явление стратификации). Именно такие пожары трудно обнаруживаются дымовыми извещателями, установленными на потолке и поэтому необходимы дополнительные извещатели, контролирующие пространство ниже потолка.

Выполненные расчеты и анализ их результатов показали высокую эффективность тепловых извещателей для обнаружения пламенного пожара. Точечные дымовые извещатели, установленные на потолке, и преследующие своей основной целью обнаружить пламенной пожар, будут его обнаруживать лишь значительно раньше теплового извещателя. Следует это из того, что точечный дымовой извещатель, работающий на принципе регистрации рассеянного света, например, при горении древесины активизируется, когда температура в месте его установки увеличится на 42°C, а при горении хлопка температура должна

дисперсной фазы дыма, который образует аэрозоль. Максимально полное использование их возможностей является предметом исследований, проводимых ведущими научными центрами [2, 3]. Например, авторы работы [4] для разделения сигналов от различных тлеющих материалов предлагают использовать регистрацию оптического излучения рассеянного под разными углами.

Для существующей проблемы ложного срабатывания точечных дымовых оптико-электронных пожарных извещателей важное значение имеет методика и совершенство технических средств проведения их испытаний и, в частности, определения чувствительности. В настоящее время имеется много неоднозначности при проведении испытаний дымовых извещателей как лучевого типа, так и извещателей, использующих явление рассеяния оптического излучения [5]. В значительной степени эта неоднозначность обусловлена несовершенством действующей нормативной документации. Например, в настоящее время у испытуемых извещателей не контролируется селективная чувствительность к тестовым очагам пожара. Производители, в свою очередь, не указывают, какой тип пожара наилучшим образом обнаруживается данным типом извещателей.

Качество выполнения проектных работ при создании СПС в жилых помещениях и других местах пребывания людей определяется большим количеством факторов. Так процесс развития пожара в жилых помещениях имеет ряд особенностей в зависимости от вида помещения и его функционального назначения (спальня, жилая комната кухня, подсобное помещение). Однако существующие нормативные документы [6, 7] требуют оборудования таких объектов системами пожарной сигнализации в виде автономных пожарных извещателей независимо от функционального назначения, площади, этажности и пожарной нагрузки. Выбор пожарного извещателя ограничивается тем, что на таких объектах допускается установка как тепловых, так и дымовых извещателей.

В отличие от указанных документов, в зарубежной практике [1] требования к проектированию систем пожарной сигнализации в жилых помещениях проработаны более детально. В-первых, подобные объекты подразделяют на несколько видов, например, жилые объекты для одной и двух семей; спальни

УДК 681.306

Эффективность обнаружения пожара в жилых помещениях

Зуйков И.Е.^{*}, Антошин А.А.^{*}, Есипович Д.Л.^{**}

^{*}Белорусский национальный технический университет,

^{**}НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС РБ, г. Минск

Пожары занимают третье место по значимости среди причин смерти в результате несчастного случая в жилище [1]. Поэтому любые меры направленные на предотвращения пожаров или хотя бы своевременное их обнаружение имеют большое социальное значение. Учитывая, что более 80% всех несчастных случаев происходят в результате пожаров именно в жилых помещениях, особое значение придается системам пожарной сигнализации (СПС) специально предназначенным для установки в местах проживания людей.

Эффективность функционирования таких СПС определяется тремя основными факторами. Во-первых, это качество выполнения проекта СПС, учитывающего возможность достижения количественных критериев решения задач стоящих перед СПС. Например, обеспечение условий (необходимого времени) для безопасной эвакуации жителей. Во-вторых, технические средства обнаружения пожара должны обнаруживать загорание на самой ранней стадии и иметь низкую вероятность ложного срабатывания. Эти требования являются противоречивыми так как повышение чувствительности извещателя как правило приводит к увеличению вероятности ложных срабатываний.

В значительной степени такую зависимость можно ослабить, если применяемые пожарные извещатели, или система в целом, имеют способность разделять реальную угрозу пожара и ситуации, не представляющие опасность, а также имеют селективную чувствительность к различным типам пожаров. Степень реализации этой функции зависит от принципов работы пожарных извещателей и алгоритма обработки сигналов в извещателях или приемно-контрольных приборах.

Большие потенциальные возможности для решения названной проблемы имеют точечные дымовые оптико-электронные пожарные извещатели. Обусловлено это зависимостью характеристик рассеянного дымом оптического излучения от свойств

В канале измерений физической величины x_i^j объекта, осуществляется преобразования физической величины x_i^j в измеряемую $b_0^j = \phi_{diff}^j$. Сравнение размера измеряемой величины b_0^j с размером однородной физической величины $n[b_0]$, воспроизводимой мерой, осуществляется компаратором $w(b_0^j - n[b_0])$.

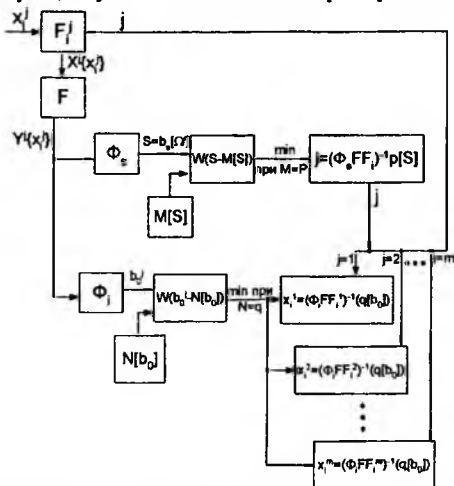


Рис.4. Обобщенная структурная схема СИ параметров объектов с неопределенными состояниями

При невозможности выбрать показатели состояния, либо разработать методы измерений в идентифицированных состояниях, либо разработать методы идентификации состояния объекта необходимо осуществить переход к новой системе метрологических состояний путем изменения совокупности измерительных воздействий на объект (в том числе и к иным принципам измерений) и организации в алгоритме процедуры циклирования.

Литература

1. Сергеев, А. Г. Метрология: Учеб. пособие для вузов. / А. Г. Сергеев, В. В. Крохин – М.: Логос, 2001. – 408 с., ил.

Параметр $b_s[\Omega']$ назовем *параметром состояния* объекта измерений S :

$$S = b_s[\Omega']. \quad (5)$$

Пусть существуют по крайней мере два измерительных преобразования Φ_i и Φ_s . В результате первого преобразования

$$\Phi_i Y^j = \Phi_i F F_i' [x_i^j(t)] = b_0^j [X^j], \quad (6)$$

измеряемая физическая величина $x_i^j(t)$ преобразуется в непосредственно измеряемый параметр $b_0^j [X^j]$. Посредством обратного измерительного преобразования $(\Phi_i F F_i')^{-1}$ экспериментальное значение этого параметра преобразуется в значение измеряемой физической величины $x_i^j(t)$:

$$x_i^j(t) = (\Phi_i F F_i')^{-1} b_0^j [X^j]. \quad (7)$$

Для получения измерительной информации для идентификации вида градуировочной характеристики $(\Phi F F_i')^{-1}$, параллельно с первым измерительным преобразованием $\Phi_i Y^j$ осуществляется второе – $\Phi_s Y^j$:

$$\Phi_s Y^j = \Phi_s F F_i' [x_i^j(t)] = b_s[\Omega'] = S. \quad (8)$$

Посредством обратного измерительного преобразования $(\Phi_s F F_i')^{-1}$ измеренное значение параметра S преобразуется в значение индекса состояния объекта измерений j :

$$j = (\Phi_s F F_i')^{-1} b_s[\Omega']. \quad (9)$$

Критерием применимости адаптивных методов измерений является требование, чтобы математическая модель измерительного сигнала (4) допускала аддитивное разделение относительно параметров b_0 и b_s .

В результате формируется структурная схема измерительного эксперимента (рис.4), использующая два измерительных канала.

В *канале идентификации* одного из m возможных состояний объекта измерений Ω' идентификация осуществляется на основе измерительного преобразования $\Phi_s F F_i'$. Многозначная мера $m[s]$ воспроизводит непосредственно измеряемую величину s заданного размера, а компаратор $w(s - m[s])$ осуществляет сравнение однородных физических величин. Результат идентификации состояния объекта измерений достигается путем обратного преобразования $j = (\Phi_s F F_i')^{-1} p[s]$.

В измерительных задачах объект измерений может характеризоваться свойством $x_{i \text{ INT}}$, зависящим от значений свойств x_i^j во всех m состояниях:

$$x_{i \text{ INT}} = f_{\text{INT}}(x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^m), \quad (2)$$

где f_{INT} – функционал, описывающий определенные математические операции, производимые над величинами x_i^j .

Взаимодействие объекта и чувствительного элемента СИ характеризуется тем, что на вход первичного преобразователя средства измерений воздействует сигнал X^j , определяемый математической моделью объекта измерений:

$$X^j = F_i^j[x_i^j(t)], \quad (3)$$

где F_i^j – некоторый функционал, описывающий ряд определенных математических операций, производимых над измеряемой величиной x_i^j .

Предположим, что выходной сигнал Y^j , содержит, кроме информативного параметра $b_0^j[X^j]$, неинформативный параметр $b_S[\Omega^j]$,

$$Y^j = Y^j\{b_0^j[X^j], b_1, b_2, \dots, b_S[\Omega^j], \dots, b_m, S_1, S_2, \dots, S_L, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q\} = F\{X^j\} = F\{X^j\{a_0[x_i(t)], a_1, a_2, \dots, a_S(\Omega^j), \dots, a_n, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_q\}, S_1, S_2, \dots, S_L\} \quad (4)$$



Рис.3.Обобщенная структура односигнальной адаптивной модели измерений

На этапе постановки измерительной задачи осуществляют: 1) установление совокупности различных состояний, в которых может находиться объект измерений; 2) выбор параметров базовых сигналов, позволяющих идентифицировать каждое состояние объекта измерений.

Создается односигнальная адаптационная модель измерений (рис.3). Пусть объект может находиться в m различных состояниях Ω^j , где $1 < j < m$. Значение x_i^j измеряемой величины x_i в j -м состоянии будет определяться значениями других параметров объекта x_p^j , влияющих величин ξ_k , а также конкретным состоянием Ω^j в соответствии с математической моделью:

$$x_i^j = f_i^{0j}(x_1^j, x_2^j, \dots, x_p^j, \Omega^j, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k). \quad (1)$$

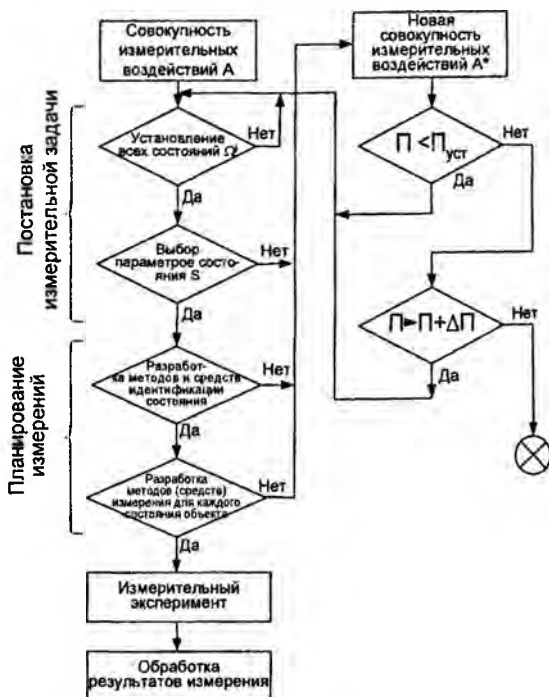


Рис.2. Структурная схема измерительной процедуры для объектов измерений в неопределенных состояниях

**Критерий применимости адаптивных методов
для измерений параметров объектов
в неопределенных состояниях**

Гусев О. К., Свистун А. И.

Белорусский национальный технический университет

Постановка задачи. В ряде случаев нестабильность свойств объектов, разнообразие технологических процессов, условий измерений, измерительных воздействий вызывает переход объектов измерений в «неопределенные» состояния, при которых нарушается соответствие модели объекта, принятой для базового метода измерений, реальному состоянию его свойств в момент измерений. Это приводит к методическим погрешностям, а в ряде случаев – к грубым погрешностям результатов базовых методов измерений.

Методология измерений. На рис. 1 показана структура взаимодействия объекта и средства измерений (СИ). Состоянием объекта измерений назовем качественную характеристику объекта, отражающую наличие у него связи между измерительными воздействиями α_q , свойствами объекта x_i и измерительными сигналами Y . Если указанная связь определена и однозначна, состояние назовём *определенным*, а если она неизвестна или неоднозначна, то – *неопределенным*.

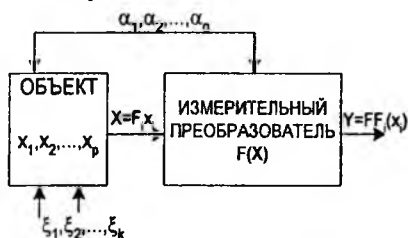


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия объекта и СИ

Методология измерений параметров объектов измерений с неопределенными состояниями заключается в том, что в дополнение к операциям, выполняемым в рамках стандартной измерительной процедуры [1], выполняют операции, представленные схематически на рис.2.

стигах при характерных расстояниях между дефектами более 50 нм. Измерения проводятся в диэлектрическом воздушном зазоре, т.е. возможны на структурах Si-SiO₂.

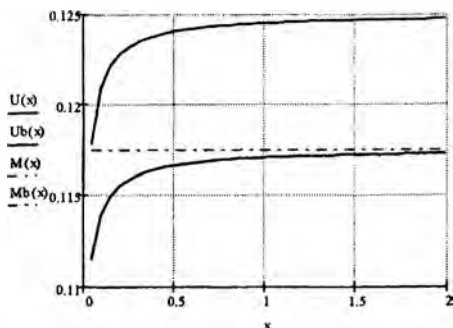


Рис. 2 – Дистанционная зависимость измеряемого значения потенциала поверхности в методе зонда Кельвина при микро неоднородном распределении потенциала

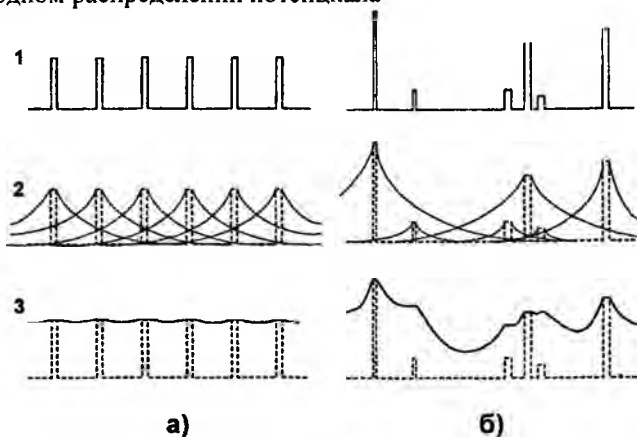


Рис. 3 – Пространственные распределения плотности дефектов и электрического потенциала на поверхности полупроводника а) микрооднородное распределение дефектов; б) микро неоднородное распределение; 1- распределение искажений электрического потенциала на дефектах; 2- распределение электрического потенциала в окрестности каждого из дефектов; 3- суммарный потенциал

выявлен микрорельеф и оценено структурное совершенство по распределению декорирующих столбиков, связанных с дефектами типа агрегатов примесей. После этого на кремниевых пластинах были выращены эпитаксиальные пленки, дефектность которых оценивалась с помощью оптического и просвечивающего электронного микроскопа. Измерения выявили области поверхности с различным характером распределения дефектов и соответствие характера сигнала КРП размерам и типу пространственного распределения дефектов. Обнаружена связь зависимости измеряемого потенциала от расстояния между отсчетным электродом и исследуемой поверхностью с характером распределения структурных неоднородностей. Дефекты с характерными размерами пространственного распределения менее 50 нм при чувствительности 2 мВ в методике анализа дистанционной зависимости сигнала КРП не обнаруживаются. Это может быть объяснено взаимным перекрытием электрического поля близко расположенных дефектов.

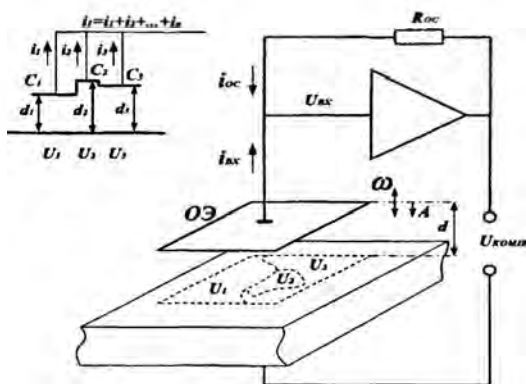


Рис. 1 – Модель реального отсчетного электрода и поверхности полупроводника с микронеоднородным распределением потенциала

Таким образом, анализ дистанционных зависимостей измеряемого сигнала в методе зонда Кельвина позволяет неразрушающим способом производить контроль параметров пространственного распределения дефектов в полупроводниковых пла-

Разработанная методика позволяет использовать дополнительные параметры измерительного сигнала, ранее обуславливающими дополнительную случайную составляющую погрешности измерения, для контроля параметров микронеоднородности распределения дефектов вплоть до их размеров несколько десятков нанометров.

Так при повторных измерениях вдоль одной и той же линии сканирования обнаружено несовпадение измеряемых пространственных распределений электрического потенциала поверхности. Моделирование неоднородности потенциала тестовыми структурами и использовании отсчетных электродов различных размеров показало, что размах несовпадений при повторных измерениях составляет величину $\Delta U \approx 3 \sigma$, где σ – среднеквадратичное отклонение потенциала. При прекращении сканирования в области с несовпадающими значениями измерительного сигнала при повторных измерениях и поперечном перемещении отсчетного электрода наблюдается дистанционная зависимость измерительного сигнала. При этом, при поперечном перемещении отсчетного электрода над областью поверхности с микронеоднородным распределением потенциала дистанционная зависимость измерительного сигнала отсутствует.

Неоднородность распределения потенциала под электродом может быть смоделирована наличием под электродом участков поверхности с потенциалами $U_1 \dots U_n$, занимающими площади $S_1 \dots S_n$ (Рис. 1). При этом должно выполняться условие равенства средних значений потенциала на площади под электродом S для модели и моделируемой поверхности. Наличие под электродом неоднородностей потенциала приводит к зависимости измеряемого значения потенциала от расстояния между отсчетным электродом и поверхностью. Результаты моделирования дистанционной зависимости измерительного сигнала при наличии микронеоднородностей приведены на рис. 2. Пунктирными линиями нанесены средние под отсчетным электродом значения поверхностного потенциала.

Объектом исследования служили пластины кремния марки КЭФ (n-типа проводимости), КДБ (p-проводимости) и арсенида галлия (n-типа проводимости) после химико-механической полировки. Вначале на исходных пластинах измерялось пространственное распределение потенциала (КРП), затем на них был

УДК 537.58+621.317

Неразрушающий контроль параметров пространственного распределения дефектов с характерными размерами более 50 нм в полупроводниковых пластинах

Гусев О. К., Воробей Р. И., Тявловский К. Л., Тявловский А. К.
Белорусский национальный технический университет

Надежность и стабильность приборных структур интегральных микросхем (ИМС) во многом определяют ионные загрязнения, присутствующие в диэлектрических слоях. В технологическом процессе производства ИМС используются различные диэлектрические слои с использованием большой номенклатуры материалов:

- подзатворный диэлектрик – высокотемпературные процессы окисления кремния в различных средах (пирогенное окисление, пары воды, сухой кислород и др.);
- изолирующие и базовые диэлектрики – высокотемпературные длительные процессы окисления кремния с целью создания изоляции элементов ИМС;
- межслойные, пассивирующие диэлектрики – средне- и низкотемпературные процессы осаждения слоев (разложение сложных кремнийорганических соединений, пиролитическое осаждение и др.)

Наличие микронеоднородностей на поверхности полупроводниковых пластин, границах раздела и слоях Si-SiO₂ во многом определяет параметры и надежность схем, разброс параметров приборных структур. Анализ микронеоднородностей становится наиболее актуальным в связи с переходом к субмикронным проектным нормам и уменьшением толщины подзатворного диэлектрика.

Метод зонда Кельвина (КРП) характеризуется высокой чувствительностью к искажениям электрического потенциала, вызванных любыми типами дефектов, является бесконтактным, т.е. неразрушающим, не требует какой-либо подготовки поверхности или создания тестовых структур. Однако пространственная разрешающая способность метода ограничивается размерами расчетного электрода.

На рисунке 1 в виде отдельных точек представлена зависимость амплитуды колебаний маятника от времени, полученная из измерений на поверхности кристалла кремния КДБ 12, и в виде непрерывной кривой представлена функция, аппроксимирующая эту зависимость.

На рисунке 2 представлены составляющая момента силы трения качения, зависящая от угловой скорости маятника (сплошная кривая), и составляющая, независящая от угловой скорости маятника (горизонтальная прямая), построенные на основе результатов измерений и аппроксимации.

Проведение измерений в интервале амплитуд $\alpha < 0,5\beta$:

- обеспечивает отсутствие проскальзывания шариков на испытываемой поверхности, поскольку в этом случае пятно контакта практически не перемещается;

- позволяет исключить вязкую составляющую момента трения качения и увеличить точность измерения коэффициента трения качения;

- позволяет установить количественный критерий ω_0 для разделения момента силы трения качения на составляющие и вычислить эти составляющие по формулам (6) и (7). При угловых скоростях $\omega < \omega_0$ превалирует адгезионная составляющая момента силы трения, а при угловых скоростях $\omega > \omega_0$ превалирует гистерезисная составляющая момента силы трения.

Это объясняется тем, что гистерезисная и вязкая составляющая момента силы трения стремятся к нулю, когда скорость шарика стремится к нулю. А адгезионная составляющая остается конечной, поскольку процесс отрыва поверхности шарика от поверхности контртела стремится к обратимому изотермическому процессу, который зависит от коэффициентов поверхностного натяжения контактирующих поверхностей.

Отметим, что на рисунке 2 значение $\omega_0 \approx 1,134$ угл.мин/с было достигнуто при $\alpha \approx 20$ угловых секундах. При этом $b_0 = 1,65 \cdot 10^{-7}$; $b_1 = 3,83 \cdot 10^{-4}$ с; $b_2 = 0,41$ с.

$$M_{адс} = PRb_0. \quad (6)$$

6. Рассчитывают значение гистерезисной составляющей момента трения по формуле

$$M_{вязк} = PR(b_1|\omega| + b_2\omega^2). \quad (7)$$

7. Строят график зависимости этих составляющих от угловой скорости маятника (см. рисунок 2). На этом графике фиксируют наличие угловой скорости ω_0 , где эти моменты равны. Если ω_0 отсутствует, измерение необходимо повторить при меньших амплитудах колебаний. Если значение ω_0 достигнуто, то адгезионная составляющая трения превалирует в области $\omega < \omega_0$, а вязкая – в области $\omega > \omega_0$.

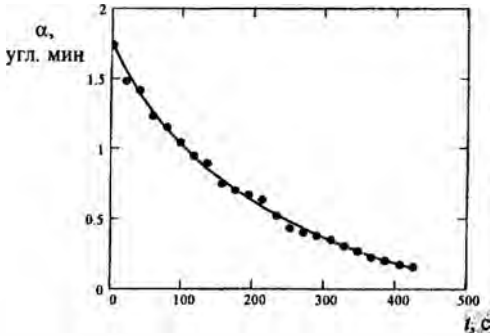


Рисунок 1 – Затухание колебаний маятника и его аппроксимация

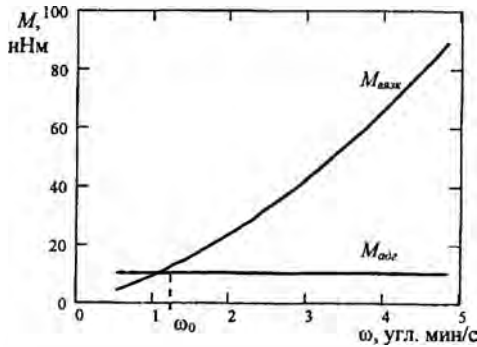


Рисунок 2 – Зависимость моментов силы трения от угловой скорости шариков

нием регрессии, полученным на основании математической модели взаимодействия шариков и поверхности.

2. Измерения свободных колебаний физического маятника проводят в интервале амплитуд α , меньших половины угла статического контакта β шариков и поверхности. В этом случае деформационной составляющей трения качения можно пренебречь. Угол β рассчитывают по известным значениям модулей Юнга исследуемого материала E_1 и шариков E_2 и их коэффициентов Пуассона ν_1 и ν_2 , радиуса шарика R и веса маятника P :

$$\beta \approx \frac{d}{2R} \approx \frac{1}{R} \left(\frac{3PR}{4E^*} \right)^{1/3}, \quad (2)$$

где d – диаметр пятна контакта и

$$E^* = \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{-1}. \quad (3)$$

3. Измеряют последовательность амплитуд α колебаний маятника и соответствующие им моменты времени (см. отдельные точки на рисунке 1).

4. Используя в качестве уравнения регрессии формулу

$$\alpha(t) = \frac{(\sqrt{D} - k_1)\alpha_0 - 2k_0 + \left[(\sqrt{D} + k_1)\alpha_0 + 2k_0 \right] \exp(-\sqrt{D}t)}{\sqrt{D} + k_1 + 2k_2\alpha_0 + \left[\sqrt{D} - k_1 - 2k_2\alpha_0 \right] \exp(-\sqrt{D}t)}, \quad (4)$$

где $D = k_1^2 - 4k_0k_2$, α_0 – начальная амплитуда колебаний, k_0 , k_1 , k_2 – постоянные коэффициенты, связанные с коэффициентами b_0 , b_1 , b_2 соотношениями

$$k_0 = \frac{4R}{Tl} b_0, \quad k_1 = \frac{2\pi^2 R}{T^2 l} b_1, \quad k_2 = \frac{32\pi^2 R}{3T^3 l} b_2, \quad (5)$$

аппроксимируют экспериментальную зависимость амплитуд α от времени t и находят значения коэффициентов b_0 , b_1 , b_2 методом наименьших квадратов (см. результат аппроксимации на рисунке 1 в виде сплошной линии).

Уравнение регрессии (4) получено из решения дифференциального уравнения колебаний маятника и зависимости момента трения качения от угловой скорости колебаний маятника в виде трехчлена (1).

5. Рассчитывают значение адгезионной составляющей момента трения по формуле

Информационно-измерительная техника и технологии

УДК 531.45:539.62270

Метод измерения адгезионной и гистерезисной составляющих момента трения качения

Джилавдари И. З., Ризноокая Н. Н.

Белорусский национальный технический университет

В связи с разработкой микромеханических систем, весьма актуальными становятся исследования трения на малых участках поверхности материалов. Основным достоинством трения качения является щадящий режим взаимодействия индентора и поверхности. При этом широко используются свободные затухающие колебания физического маятника, опирающегося двумя шариками на исследуемую поверхность. Однако существуют проблемы в интерпретации результатов опытов.

Силу или момент силы трения качения можно разделить на следующие составляющие:

- адгезионная составляющая. Она обусловлена адгезией (или прилипанием) взаимодействующих поверхностей;
- деформационно-гистерезисная составляющая. Она обусловлена упруго-пластичными свойствами материала;
- вязкая составляющая. Она обусловлена проскальзыванием шариков относительно поверхности и упруго-вязкими свойствами материала.

На опыте, если не принято специальных мер, сила трения всегда обусловлена всеми тремя механизмами диссипации энергии. Для измерения адгезионной и вязкой составляющих момента трения качения предлагается следующий метод.

1. Предполагают, что момент силы трения качения зависит от угловой скорости шариков (или маятника) по формуле

$$M(\omega) = PR(b_0 + b_1|\omega| + b_2\omega^2), \quad (1)$$

где P – вес маятника, R – радиус шариков, b_0 , b_1 , b_2 – постоянные коэффициенты, определяемые методом аппроксимации экспериментальной зависимости амплитуды от времени уравне-

мента и при синхронизации частот вращения переключаемых звеньев.

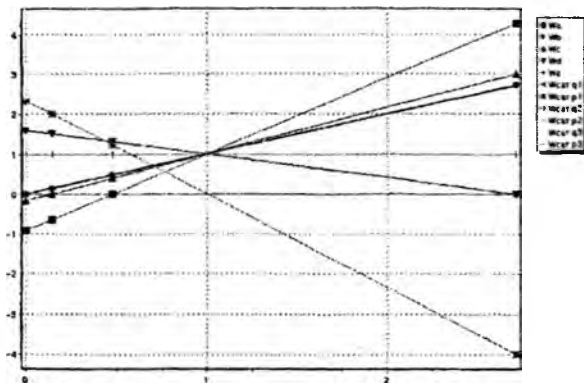


Рисунок 4 – План угловых скоростей звеньев планетарного механизма

Заключение

Разработана методика синтеза различных типов планетарных механизмов коробок передач. Получены схемные решения планетарной коробки передач в составе трансмиссии трактора. На основе разработанных методик синтеза схем и параметров звеньев планетарных модулей создано программное обеспечение, которое позволяет проанализировать возможные схемные варианты, провести подбор чисел зубьев планетарного модуля и выполнить скоростной расчет трансмиссии.

Литература

1. Шарангович, А. И. Структурно-кинематический синтез объемной гидромеханической коробки передач трактора / А. И. Шарангович, В. Б. Альгин, В. В. Шилов // Перспективы развития белорусского тракторостроения: междунар. научн.-техн. конф. (Минск, 29-30 мая 2006г.): Матер. докл. – Минск, 2006. – С. 169–174.
2. Альгин, В. Б. Динамика, надежность и ресурсное проектирование трансмиссий мобильных машин / В. Б. Альгин. – Минск: Наука і тэхніка, 1995. – 256 с.

Методика расчета угловых скоростей механизма

Математическая модель формируется автоматически на основании данных о структуре планетарного механизма. Для описания связей между звеньями схемы и перераспределения моментов в звеньях составляющих механизмов используется структурно-силовая матрица (ССМ) и матричные методы [2].

Результаты проведения синтеза

Выбор параметров механизма сводится к оптимальному синтезу (подбору) чисел зубьев колес, удовлетворяющих целому ряду требований:

- передаточное отношение;
- условие соосности;
- условие соседства сателлитов;
- условие сборки.

На рисунке 3 представлен ход выполнения синтеза планетарной коробки передач. В качестве исходных данных для проведения синтеза механизма задаются требуемый диапазон передаточных чисел, число сателлитов и их минимальное число зубьев. Задаются ограничения по числам зубьев для солнечных шестерен (минимальное число зубьев), максимальное число зубьев короны.

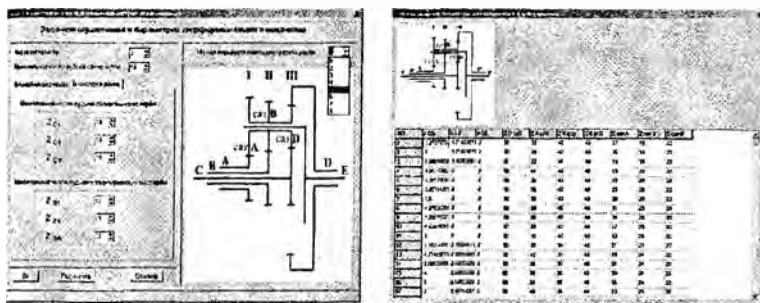


Рисунок 3 – Формы ввода/вывода результатов генерации количества зубьев колес планетарного механизма

График на рисунке 4, дает наглядное представление о изменении угловых скоростей звеньев планетарного механизма. Переключение муфт происходит при отсутствии крутящего мо-

Методика синтеза различных типов планетарных механизмов коробок передач

Альгин В. Б., Шарангович А. И., Шилов В. В.
ГНУ «Объединенный институт машиностроения
НАН Беларуси», ПО «МТЗ»

В настоящее время в мировой практике в составе трансмиссии все чаще используют планетарные коробки передач. При проектировании планетарных механизмов сложной структуры имеет место большое количество вариантов схемных решений. В данной работе описана структура коробки передач с многозвенным планетарным механизмом, приведена методика синтеза планетарных механизмов различного типа в рамках рассматриваемой структуры, представлены результаты кинематического расчета синтезированных планетарных механизмов.

Структура кинематической схемы коробки передач с многозвенным планетарным механизмом

На рисунке представлена структура коробки передач с многозвенным планетарным механизмом, имеющим различные степени свободы и количество звеньев. Переключение передач происходит при торможении одного из звеньев p -звенного механизма или его блокировки.

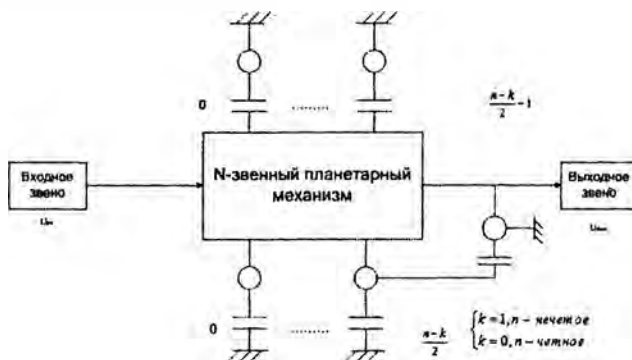


Рисунок 1 – Структурная схема коробки передач трактора

другие важные показатели, которые необходимы для достоверной оценки технического состояния узлов и агрегатов и для прогнозирования с высокой надежностью остаточного ресурса их работы.

В широком смысле цель диагностирования заключается в получении информации о техническом состоянии машины, в осуществлении анализа и прогноза этого состояния, в подготовке и принятии действий по управлению техническим состоянием для сохранения оптимальной надежности машины в эксплуатации.

Проблема повышения эффективности диагностирования тракторов может быть успешно решена путем:

- увеличения производительности труда при диагностировании;
- приближения средств диагностирования к объектам диагностирования (т.е. использование их в хозяйствах и организациях, эксплуатирующих тракторы);
- уменьшения затрат на диагностирование и повышения достоверности оценки технического состояния тракторов в целом и их агрегатов;
- более полного оснащения тракторов бортовыми диагностическими средствами;
- использования современных телекоммуникационных средств для дистанционной передачи информации о результатах диагностирования машин непосредственно в дилерские центры.

Реализация этих мероприятий возможна посредством:

- совершенствования методов и средств диагностирования;
- повышения приспособленности тракторов к диагностированию;
- разработки новых организационных форм проверки в системе технического обслуживания и ремонта техники (в системе ТОР);
- повышения квалификации специалистов, эксплуатирующих, диагностирующих и ремонтирующих тракторную технику.

сы отдельных узлов и деталей. Если своевременно не обнаруживать и не заменять изношенные узлы и детали, то это приводит к прогрессирующим износам и преждевременным поломкам в машинах. В результате снижаются выработка и межремонтная наработка тракторов, значительно увеличиваются затраты на их эксплуатацию, снижается безопасность работы.

По этим причинам в настоящее время большое внимание уделяется совершенствованию самой системы технического обслуживания, которая приобретает характер комбинированной системы, предусматривающей выполнение одной части операций в обязательном порядке, а другой – по потребности.

Система технического обслуживания машин по состоянию (а не по периодичности) заключается в плановом контроле (т.е. в диагностировании) состояния машин, в ремонте и в обслуживании их зависимости от этого состояния (т.е. по потребности).

Такая организация диагностических работ позволяет:

- более полно использовать технический ресурс агрегатов, узлов и тракторов в целом;
- исключить необоснованные разборки и регулировки узлов и тем самым уменьшить скорость изнашивания сопряжений, а также снизить трудоемкость ремонта и технического обслуживания;
- уменьшить простои МТА из-за технических неисправностей путем прогнозирования и предупреждения отказов;
- повысить экономические показатели работы тракторов.

Широкое внедрение диагностирования тракторов в различных категориях хозяйств и организаций является довольно сложной технико-экономической проблемой. Однако нынешний уровень развития науки и техники позволяет в принципе её целенаправленно решать.

По мере усложнения конструкций тракторов, повышения скоростей их движения, ужесточения требований к надежности агрегатов и к безопасности работы, актуальность вопросов диагностирования все больше возрастает.

В практике диагностирования тракторов на смену простым диагностическим приборам и средствам приходят все более сложные, в том числе электронные тестеры и системы. Они позволяют количественно оценить целый комплекс параметров рабочего процесса, износа деталей, зазоров в сопряжениях и

Вопросы диагностирования тракторов

Жуковский Ю. М.

Белорусский национальный технический университет

Для поддержания машин в технически исправном состоянии в отраслях, в которых эксплуатируется тракторная техника, до последнего времени широко применялась планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта (ТОР).

Плановость системы ТОР заключается в том, что все виды ТО проводятся после определенного времени работы трактора по заранее составленному плану-графику (который обычно имеется в руководстве по эксплуатации трактора). Ремонты хотя и планируются, но проводятся по потребности, определяемой после проведения ТО и диагностирования.

Предупредительный характер системы ТОР предполагает проведение мероприятий, предупреждающих возникновение неисправностей и отказов машин в период их использования.

Жесткая регламентация операций ТОР по наработке (или расходу топлива) часто не соответствует действительному техническому состоянию и особенностям конкретного трактора, не учитывает специфику его эксплуатации. Разнообразные условия эксплуатации (почвенно-климатические, технологические (по видам операций), степень загрузки трактора, квалификация персонала, уровень технического обслуживания и др.) по-разному влияют на интенсивность износа деталей тракторов. Кроме того, заложенные на стадиях проектирования и создания свойства и параметры машины в процессе ее изготовления не возможно воспроизвести с абсолютной точностью.

Вследствие этих причин при постановке тракторов на плановое обслуживание или ремонт одни машины действительно требуют сложных регулировочных и восстановительных работ, а другие, не выработав полного эксплуатационного ресурса, преждевременно разбираются, регулируются и ремонтируются. Это увеличивает расход запасных частей, нарушает их приработку и влечет за собой преждевременный выход из строя.

У тракторов, работающих в тяжелых условиях, ко времени планового обслуживания часто наблюдаются предельные изно-

Для данных торсионных валов были определены модули упругости при сдвиге G_{III} с использованием экспериментальных упругих характеристик и зависимостей (1) – (4). В результате расчетов получено, что для вала $\varnothing 38$ мм ($L_{т1} = 723,404$ мм [$l_{т1} = 694,677$ мм; $D_{сб1} = 46,579$ мм; $D_{ем1} = 44,023$ мм; $R = 100$ мм]; $J_{р1} = 204707,75$ мм⁴) модуль упругости при сдвиге G_{III} составил 69,33 ГПа, для вала $\varnothing 42$ мм ($L_{т1} = 731,078$ мм [$l_{т1} = 709,345$ мм; $D_{сб1} = 46,579$ мм; $D_{ем1} = 44,023$ мм; $R = 100$ мм]; $J_{р1} = 305490,04$ мм⁴) соответственно 71,12 ГПа.

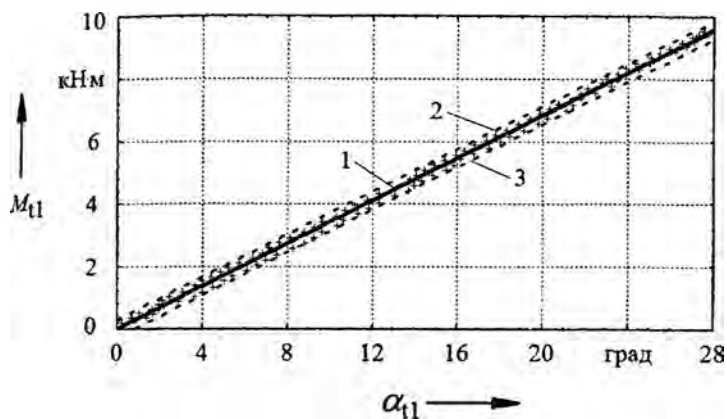
В результате проведенных исследований установлено:

- для торсионного вала $\varnothing 38$ мм модуль упругости при сдвиге G_{III} составил 69,33 ГПа, для вала $\varnothing 42$ мм - 71,12 ГПа;
- жесткость торсиона для вала $\varnothing 38$ мм составила 342,426 Нм/град, для вала $\varnothing 42$ мм – 518,687 Нм/град.

Проведенные расчеты показали, что при определении упругих характеристик торсионных валов необходимо уточнять для конкретных конструкций торсионов механические свойства материалов.

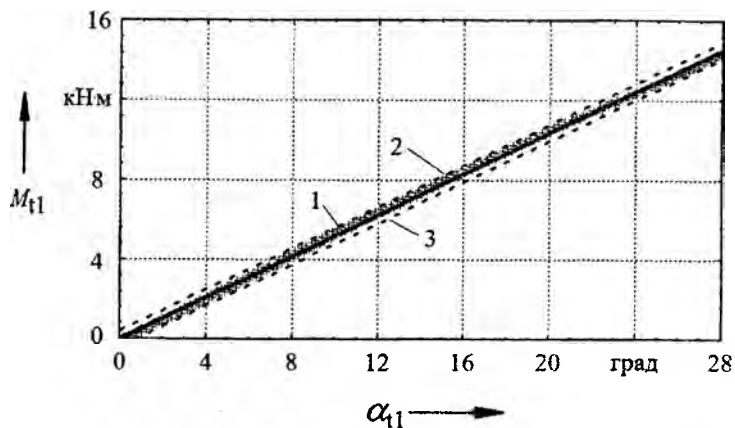
Литература

1. Волков, Ю. П. Ходовая часть транспортных гусеничных машин. Ч. 2. Система поддрессоривания: учеб. пособие / Ю. П. Волков, В. Е. Ролле, А. Д. Самойлов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – 142 с.
2. Подскребко, М. Д. Соппротивление материалов / М. Д. Подскребко. – Минск: ДизайнПРО, 1998. – 592 с.
3. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть: учеб. пособие для вузов / А. И. Гришкевич [и др.]; под общ. ред. А. И. Гришкевича. – Мн.: Вышэйшая школа, 1987. – 200 с.
4. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин [и др.]; под общ. ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
5. Ходовая часть гусеничных машин: учеб. пособие / В. Д. Галышев [и др.]; под общ. ред. В. Д. Галышева. – Ленинград: Изд-во ЛПИ им. М.И. Калинина, 1976. – 84 с.
6. Жданович, Ч. И. Модернизированный стенд для испытания торсионов / Ч. И. Жданович, В. Н. Плищ, В. В. Герашенко // Тракторы и с/х машины. – 2005. – №12. – С. 30 – 31.



1 – упругая характеристика торсионного вала; 2 и 3 – верхняя и нижняя границы доверительного интервала экспериментальных данных с вероятностью 95%

Рисунок 2 – Экспериментальная упругая характеристика заневоленного торсионного вала $\varnothing 38$ мм



1 – упругая характеристика торсионного вала; 2 и 3 – верхняя и нижняя границы доверительного интервала экспериментальных данных с вероятностью 95%

Рисунок 3 – Экспериментальная упругая характеристика заневоленного торсионного вала $\varnothing 42$ мм

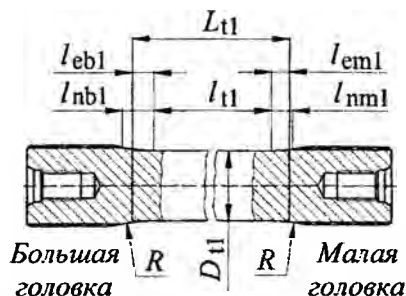


Рисунок 1 – Основные размеры торсионного вала

Жесткость торсионного вала, как видно из (1), прямо пропорциональна модулю упругости при сдвиге G_{III1} , который зависит от качества металла, технологии изготовления и упрочнения вала. Согласно данным, приведенным в [4, с. 616], для незапатентованной стали 45ХН2МФА при температуре 20°C модуль упругости при сдвиге G_{III1} составляет 87 ГПа, при 100°C – 82 ГПа, по данным [1, с. 19] G_{III1} для незапатентованной стали составляет 81 ГПа, для патентованной 76,5 ГПа, по данным [5, с. 13] G_{III1} для торсионных сталей составляет 85 ГПа. Это подтверждает неоднозначность значения модуля упругости при сдвиге G_{III1} торсионных сталей, который существенно сказывается на упругой характеристике торсиона.

В связи с этим, жесткость торсионных валов m_{II1} была определена экспериментально. Также по экспериментальным данным был установлен модуль упругости при сдвиге G_{II1} для данных конструкций торсионных валов. Для этого был модернизирован стенд для испытания торсионов [6].

Результаты экспериментальных исследований торсионных валов $\varnothing 38$ мм и $\varnothing 42$ мм приведены на рисунках 2 и 3. Жесткость торсиона m_{II1} в результате обработки экспериментальных данных и определенная по известной зависимости $m_{II1} = M_{II1}/\alpha_{II1}$ [1, с. 16], где M_{II1} – момент закрутки торсиона; α_{II1} – угол закрутки, для вала $\varnothing 38$ мм составила 342,426 Нм/град, для вала $\varnothing 42$ мм – 518,687 Нм/град.

Жданович Ч. И., Плищ В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Для определения динамической нагруженности элементов ходовых систем гусеничных тракторов необходимо знать упругую характеристику подвески. В настоящее время на гусеничных тракторах находят широкое применение индивидуальные торсионные подвески опорных катков. Для каждой конкретной конструкции характеристику торсионной подвески определяют через упругую характеристику торсионного вала.

Целью работы является определение упругих характеристик торсионных валов $\varnothing 38$ мм и $\varnothing 42$ мм, используемых на гусеничных тракторах «Беларус».

Жесткость торсионного вала $m_{т1}$ определяется выражением [1, с. 15]:

$$m_{т1} = J_{р11} \cdot G_{1111} / L_{т1}, \quad (1)$$

где $J_{р11}$ – полярный момент инерции сечения торсионного вала; G_{1111} – модуль упругости при сдвиге; $L_{т1}$ – приведенная длина торсионного вала.

Полярный момент инерции сечения торсионного вала $J_{р11}$ для вала круглого сечения [2, с. 127]:

$$J_{р11} = \pi D_{т1}^4 / 32, \quad (2)$$

где $D_{т1}$ – наружный диаметр торсионного вала (рисунок 1).

Приведенная длина торсионного вала $L_{т1}$ [3, с. 132]:

$$L_{т1} = l_{т1} + l_{еб1} + l_{ем1}, \quad (3)$$

где $l_{т1}$ – конструктивная длина цилиндрической части торсионного вала; $l_{еб1}$, $l_{ем1}$ – эквивалентная длина переходного участка соответственно к большой и малой головкам торсиона.

Эквивалентные длины переходных участков $l_{еб1}$ и $l_{ем1}$ соответственно к большой и малой головкам торсиона, образованной дугой окружности радиуса R ($R = 100 \dots 110$ мм) [3, с. 132]:

$$l_e = \frac{l_n}{48(D/D_{т1})^3} \left[8 + 10 \frac{D}{D_{т1}} + 15 \frac{(D/D_{т1})^3}{\sqrt{D/D_{т1} - 1}} \arctg \sqrt{\frac{D}{D_{т1}} - 1} \right], \quad (4)$$

где D – диаметр по впадинам шлиц большой или малой головок торсионов; $l_n = D_{т1} \sqrt{((D/D_{т1} - 1)R/D_{т1} - ((D/D_{т1} - 1)/2)^2}$.

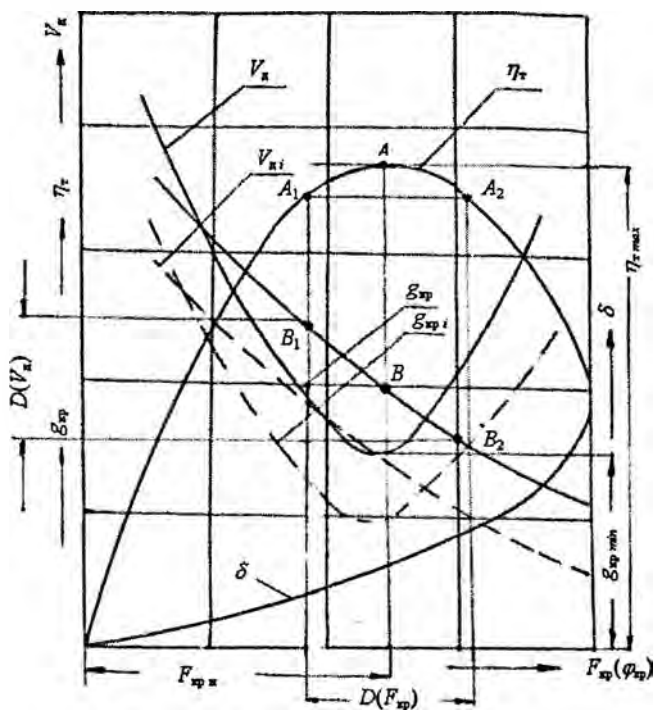


Рис. 1. Универсальная потребительская характеристика трактора

Таким образом, универсальная потребительская характеристика трактора позволяет оценить его потребительские свойства на стадии проектирования и дать заключение о его конкурентоспособности.

Литература

1. Гуськов, В. В. Тракторы. Теория / В. В. Гуськов, И. П. Ксенович, Н. Ф. Богдан [и др.]; под ред. В. В. Гуськова. – М., 1998.
2. Зангиев, А. А. Производственная эксплуатация машино-тракторного парка / А. А. Зангиев, Г. П. Лышко, А. М. Скороходов. – М., 1996.
3. Колобов, Г. Г. Тяговые характеристики тракторов / Г. Г. Колобов, А. П. Парфенов. – М., 1972.

где $P_{\text{вoм}}$ – общая мощность, отбираемая через ВОМ:

$$P_{\text{вoм}} = P'_{\text{вoм}} / \eta_{\text{вoм}},$$

где $P'_{\text{вoм}}$ – мощность, отбираемая на привод активных органов агрегируемых машин; $\eta_{\text{вoм}}$ – КПД, учитывающий потери мощности при передаче ее через ВОМ.

Результаты расчетов по формуле (11) приведены на рис. 1.

На рис. 1 пунктирными и штрихпунктирными линиями показаны действительная скорость движения и крюковой расход топлива при отборе мощности через ВОМ.

Из рис. 1 также видно, что максимум тягового КПД $\eta_{\text{т max}}$ находится в области номинального крюкового усилия $F_{\text{кр н}}$. Если допустить снижение $\eta_{\text{т max}}$ от точки А до точек A_1 и A_2 в пределах 5% - 6% (т.е. в пределах коэффициента эксплуатационной нагрузки χ_3), то получим диапазон рациональных крюковых усилий для данного трактора, $D(F_{\text{кр}})$, т.е. рабочий диапазон.

Точка В графика $V_{\text{д}} = f(F_{\text{кр}}, \varphi_{\text{кр}})$ определяет действительную скорость движения при номинальном крюковом усилии, а точки B_1 и B_2 – рабочий диапазон скоростей $D(V_{\text{д}})$.

Если необходимо перейти к теоретическим скоростям движения $V_{\text{т}}$, то нужно учесть буксование трактора, т.е. $V_{\text{д}} = V_{\text{т}}(1 - \delta)$.

При использовании формулы (11) можно решить и обратную задачу: при заданной скорости движения и доли отбора мощности через ВОМ найти крюковое усилие и тем самым определить возможно ли агрегирование трактора с данной сельскохозяйственной машиной.

Интерес представляет определение удельного расхода топлива $g_{\text{кр}}$ на крюке трактора.

$$g_{\text{кр}} = g_e / (m\eta_{\text{т}} + n\eta_{\text{вoм}}), \quad (12)$$

где g_e – эффективный расход топлива, кг/(э*Вт*ч); m – доля мощности, идущей на тягу; n – доля мощности, отбираемой через ВОМ.

Эти зависимости показаны на рис.1 штрихпунктирными линиями.

Произведение $\eta_{тр}\eta_r$ показывает совершенство конструкции трактора, а $\eta_{\delta}\eta_{спр}$ – совершенство его тягово-сцепных качеств,

$$\eta_{\delta}\eta_{спр}=(1-\delta)F_{кр}/F_k=(1-\delta)(1-F_{спр}/F_k), \quad (5)$$

где $F_{спр}$ – сила сопротивления движению, образующаяся за счет смятия грунта движителем и образования колеи, Н; F_k – касательная сила тяги, Н; δ – буксование, в долях единицы.

При установившемся движении

$$F_k = F_{спр} + F_{кр}. \quad (6)$$

Зависимость буксования трактора от тяговой нагрузки носит сложный характер и зависит от многих факторов и, прежде всего, от почвогрунта и его фона.

Существует много зависимостей $\delta=f(F_{кр})$. Однако наиболее приемлемой и адекватной реальной является зависимость предложенная НАТИ [1], которая имеет вид:

$$\varphi_{кр} = \varphi_{кр\max} - Ae^{-B\delta}, \quad (7)$$

где $\varphi_{кр}$ – коэффициент крюкового усилия (коэффициент использования сцепного веса), $\varphi_{кр}=F_{кр}/G$, где G – эксплуатационная масса трактора, Н; $\varphi_{кр\max}$ – максимальный коэффициент крюкового усилия; A и B – эмпирические коэффициенты.

Формулу (7) можно преобразовать следующим образом: прологорифмируем выражение (7):

$$\ln(\varphi_{кр\max}-\varphi_{кр}) = -\ln(Ae^{B\delta}). \quad (8)$$

И

$$\delta = -\ln(\varphi_{кр\max}-\varphi_{кр})/(B\ln A). \quad (9)$$

Заменим δ в формуле (5) и значения $F_k = \varphi_{кр}G$, $F_{спр} = fG$,

$$\eta_r = \eta_{тр}\eta_r \left[1 + \frac{\ln(\varphi_{кр\max} - \varphi_{кр})}{B \ln A} \right] \left(1 - \frac{f}{\varphi_{кр} + f} \right), \quad (10)$$

где f – коэффициент сопротивления движению трактора.

С учетом использования коэффициента запаса мощности χ_s (коэффициента эксплуатационной нагрузки) формула (2) будет иметь следующий вид

$$V_d = \frac{(P_e - P_{ном})\chi_s\eta_{тр}\eta_r \left[1 + \frac{\ln(\varphi_{кр\max} - \varphi_{кр})}{B \ln A} \right] \left(1 - \frac{f}{\varphi_{кр} + f} \right)}{F_{кр}}, \quad (11)$$

Тракторостроение

УДК 629.214.001.2

Методика построения универсальной потребительской характеристики трактора

Гуськов А. В.¹, Гуськов В. В.², Радченко П. В.²

¹РУП «Минский тракторный завод»

²Белорусский национальный технический университет

В связи с поступлением в сельское хозяйство комбинированных сельскохозяйственных машин, которые требуют отбора мощности через ВОМ на привод активных рабочих органов, потребовалось разработать методику построения универсальной характеристики трактора, по которой можно было бы судить о тяговой и ротационной мощностях, их рациональному соотношению, тягово-сцепным качествам и другим показателям машины. Существующие тяговые и потенциальные характеристики ответа на этот вопрос не дают.

Основанием для такой характеристики, которую мы назовем универсальной потребительской характеристикой трактора (УПХТ), служит известное соотношение

$$P_{кр} = F_{кр} V_{д}, \quad (1)$$

где $P_{кр}$ – тяговая мощность (мощность на крюке трактора), кВт; $F_{кр}$ – крюковое усилие, Н; $V_{д}$ – действительная скорость движения, м/с.

И

$$V_{д} = P_{кр} / F_{кр}. \quad (2)$$

В свою очередь

$$P_{кр} = P_{\epsilon} \eta_{т}, \quad (3)$$

где P_{ϵ} – мощность двигателя, Вт; $\eta_{т}$ – тяговый коэффициент полезного действия.

$$\eta_{т} = \eta_{тр} \eta_{r} \eta_{\delta} \eta_{спр}, \quad (4)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД, учитывающий потери мощности в трансмиссии; η_{r} – КПД, учитывающий потери мощности в ходовой части; η_{δ} – КПД, учитывающий потери скорости; $\eta_{спр}$ – КПД, учитывающий потери мощности на смятие грунта движителем и образование колес.

Основная особенность работы агрегата дозирования: цикличность подачи рабочей жидкости в напорные магистрали потребителей, обеспечивающая независимость работы контуров.

Изменение числа потоков достигается изменением числа групп продольных каналов подшипника скольжения, и каналов подключения контуров потребителей.

Объем рабочей жидкости, поступающий в напорную магистраль данного за цикл пропорционален центральному углу канала 5, 6, обратно пропорционален частоте вращения ротора 4, и параметрами дискретизации потока, определяемой числом каналов 3, и 5, 6 [3].

Конструктивно агрегат дозирования может быть решен, как отдельный агрегат, устанавливаемый в рациональном, с точки зрения компоновочных решений, месте трансмиссии, компоноваться совместно с насосом [4].

Разработка предлагаемой конструктивной схемы позволит создать агрегат дозирования с заданными параметрами расхода рабочей жидкости по напорным магистралям потребителей, обеспечивает модульное построение дозирующей системы.

Литература

1. Караваев, В. А. ОАО «Пневмостроймашина» – ведущее российское предприятие по проектированию, изготовлению и продаже аксиально-поршневых гидромашин / В. А. Караваев // Строительные и дорожные машины. – 2000. – № 6. – С. 5–8.

2. Вавилов, А. В. Многопоточные насосные агрегаты многофункциональных технологических машин / А. В. Вавилов, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай // Инженер-механик. – 2006. – № 4. – С. 10–14.

3. Коробкин, В.А. Обоснование параметров агрегата дозирования гидропривода строительных и дорожных машин / В. А. Коробкин, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, Ю. А. Андрияненко // Строительная наука и техника. – 2007. – № 4. С. 51 – 57.

4. Делитель потока: пат. 2841 Респ. Беларусь, МПК7 F 15B 11/22 / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № u 20050707; заявл. 09.11.05; опубл. 30.03.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 3. – С. 198.

сы. Sauer-Danfoss выпускает продольный тандемный насос, где два блока цилиндров установлены на одном валу и обращены опорно-распределительными дисками друг к другу.

В ряде гидравлических систем отбора мощности для синхронизации перемещения рабочих органов находят применение агрегаты дозирования, работающие в режимах деления и суммирования потоков рабочей жидкости. Агрегат дозирования обязателен в технологических машинах, агрегатированных с шасси, насыщенных исполнительными органами, питающихся от насоса шасси.

Агрегат дозирования может быть решен технически, как роторный (рис. 1).

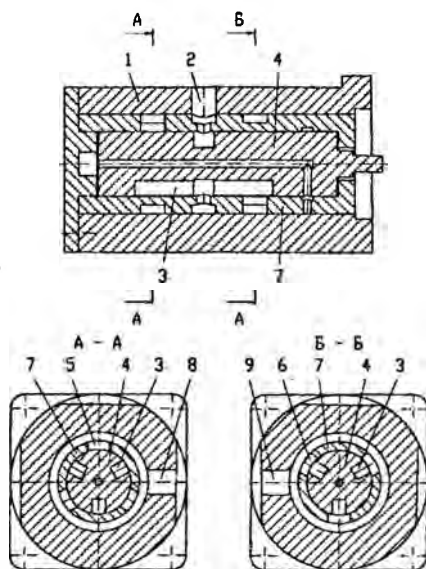


Рис. 1. Агрегат дозирования

При работе агрегата дозирования в режиме деления потока, рабочая жидкость через канал 1 корпуса 2 поступает в полости продольных каналов 3 ротора 4, откуда, периодически, через продольные каналы 5, 6, подшипника скольжения 7, в магистрали потребителей, подключенные к каналам 8, 9 корпуса 1.

рами делает выполнение работ невозможным: вместо подъема стрелы с поворотом стрела начнет опускаться за счет возрастания скорости поворота платформы. Отказ же от совмещения рабочих движений уменьшит производительность машины практически вдвое.

Выход из сложившейся ситуации был найден в применении на полноповоротных экскаваторах сдвоенных насосов. Гидросистема машины сконструирована таким образом, что при подключении одного потребителя поток обоих насосов суммируется и направляется в этот потребитель; при включении же двух потребителей каждый остается работать со своим насосом, изолированно от другого. Габарит моноагрегата превышает габарит каждого отдельного насоса в 6...10 раз.

В дорожно-строительной отрасли наметилась тенденция создания сложных машин для выполнения целого ряда технологических операций за один проход. Например, машины для термического восстановления и ремонта асфальтобетонных покрытий при ремонте дорожного полотна осуществляют разогрев старого полотна, срез его фрезой, дозированное смешивание с новыми минеральными наполнителями, также дозированный впрыск в смесь вяжущего, повторное перемешивание смеси, ее транспортировку вдоль машины, укладку на полотно и последующее уплотнение. Все операции выполняются машиной одновременно, на ходу. Дифференциальные связи между контурами рабочих органов таких машин недопустимы. В связи с этим применяется принцип «каждому контуру свой насос».

В отечественной промышленности наиболее развит подход в создании моноагрегатных насосных станций посредством установки на двигатель раздаточной коробки, с присоединением к ней необходимого количества небольших по габариту гидронасосов [1].

Применяются варианты последовательной установки нескольких насосов (как правило, не более трех) [2]. Экономится поперечный габарит моноагрегата за счет отсутствия раздаточной коробки, однако увеличивается продольный, а также вступает в силу ограничение мощностей: все последующие насосы не могут реализовывать мощность, в сумме превышающую 60% номинальной мощности первого насоса. Ряд западных фирм-производителей гидроаппаратуры предлагают тандемные насо-

**Агрегат дозирования гидропривода
строительных и дорожных машин**

Котлобай А. Я., Котлобай А. А.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее перспективным механизмом передачи мощности от двигателя к рабочему оборудованию строительных и дорожных машин является объемный гидропривод. Увеличение давления в гидросистемах до 25 МПа и выше не требует увеличения габаритов гидроагрегатов и соединительных трубопроводов, и позволяет передавать высокие мощности исполнительным механизмам. Однако, гидравлика имеет один существенный недостаток: сложность деления потока мощности на несколько потребителей. При разветвлении гидравлической магистрали появляется дифференциальная связь между потребителями: потребитель с низким потреблением мощности неизбежно приведет к падению давления во всем контуре, что не позволит потребителю, оказавшемуся в более тяжелых условиях, развить необходимое усилие либо крутящий момент.

В гидроприводе поток мощности может быть разделен применением специальных следящих систем, либо путем добавления в цепь механических и электрических приводов.

В некоторых случаях можно обойтись без деления потока мощности. В автогрейдерах успешно применяются сложные гидросистемы с одним насосом и десятком исполнительных механизмов – сервоприводов тормоза и сцепления, гидроцилиндров и гидромоторов. Технологический цикл автогрейдера не требует постоянного совмещения рабочих движений, гидроцилиндры и гидромоторы активируются попеременно, а в исключительных случаях опыт машиниста позволяет ему мириться с возникающей при одновременном включении контуров дифференциальной связью между ними.

Однако в полноповоротных экскаваторах ситуация меняется. Рабочий цикл копания гидравлическим экскаватором практически целиком построен на совмещении двух движений: опускание стрелы и напор рукояти; напор рукояти и поворот ковша; подъем либо опускание стрелы и поворот платформы – в отвал либо в забой. Наличие дифференциальной связи между гидроцилинд-

$$\frac{d^2 z_i}{dt^2} = \left(\frac{\pi}{4} n_{2i}^2 d^2 p_{2i} - G_i - k_g \frac{dz_i}{dt} - P_{mp} sqn \frac{dz_i}{dt} \right) \frac{1}{m_i}, \quad (4)$$

где G_i – нагрузка на рабочий цилиндр; k_g – коэффициент вязкого трения о стенки цилиндра; P_{mp} – сила сухого трения.

Синхронность работы исполнительных механизмов гидропривода может быть оценена относительной погрешностью

$$\Delta = \frac{|z_i(t) - z_{i+1}(t)|}{z_{i(i+1)\max}}. \quad (5)$$

Анализ уравнений (3) показывает, что величина Δ увеличивается при увеличении разности масс m_i , величины s .

Таким образом, представлена математическая модель гидропривода с делителем потока объемного типа, позволяющая обосновать параметры делителя потока при разработке многомоторных приводов строительных и дорожных машин.

Литература

1. Вавилов, А. В. Формирование структуры гидрообъемной трансмиссии компактного универсального погрузчика / А. В. Вавилов, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай // Строительная наука и техника. – 2007. – № 4. – С. 58 – 66.
2. Делитель потока: пат. 3362 Респ. Беларусь, МПК7 F 15B 11/22 / В. А. Коробкин, А. Я. Котлобай, А. Н. Ивановский, Ю. А. Андрияненко, Б. А. Луцков, А. А. Котлобай; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Минский тракторный завод». – № u 20060499; заявл. 28.07.06; опубл. 28.02.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 1. – С. 189.
3. Башта, Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с.
4. Коробкин, В. А. Обоснование параметров агрегата дозирования гидропривода строительных и дорожных машин / В. А. Коробкин, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, Ю. А. Андрияненко // Строительная наука и техника. – 2007. – № 4. – С. 51 – 57.
5. Метлюк, Н. Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н. Ф. Метлюк, В. П. Автушко. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.

В математической модели [5], жидкость сосредоточена в узле Y_{1i} (массой m_{1i}) – трубопроводе длиной l_i ; и в узле Y_{2i} (массой m_{2i}) – гидроцилиндре с диаметром d_{ci} . Коэффициенты податливости $\psi_{1i}(p_{1i}), \psi_{2i}(p_{2i})$. $l_i = n_{1i}d$, $d_{ci} = n_{2i}d$, где d – условный проход. z_i – перемещение поршня гидроцилиндра; x_{1i}, x_{2i} – перемещение столба рабочей жидкости в узлах Y_{1i}, Y_{2i} ; $x_{1i} = z_i n_{2i}^2$; m_i – масса груза; i – номер линии.

Уравнение движения жидкости на участке $Y_{1i} - Y_{2i}$

$$a_{1i} \frac{d^2 z_{1i}}{dt^2} + a_{2i} \frac{dz_{1i}}{dt} + a_{3i} \left(\frac{dz_{1i}}{dt} \right)^2 \operatorname{sgn} \frac{dz_{1i}}{dt} + p_{2i} = p_{1i}, \quad (2)$$

$$a_{1i} = \rho n_1 n_2^2 d; a_{2i} = 27,5 \frac{\rho v m_i n_2^2 d}{f}; a_{3i} = n_2^2 \left(0,443 \frac{k_\varepsilon \rho n_1 d}{\sqrt{f}} + \frac{\xi \rho}{2} \right),$$

ρ – плотность жидкости; v – кинематическая вязкость жидкости; k_ε – коэффициент шероховатости трубопровода; ξ – коэффициент местного сопротивления; f – площадь шланга магистрали насоса.

Преобразуя уравнения баланса мгновенных объемных расходов жидкости для узлов Y_{1i}, Y_{2i} получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{dz_{1i}}{dt} &= b_{1i} Q_i - b_{2i} \psi_{1i}(p_{1i}) \frac{dp_{1i}}{dt} - b_{3i} (p_{1i} - p_{1(i+1)}) \\ \frac{dz_i}{dt} &= \frac{dz_{1i}}{dt} - (z_{\min i} + z_i) \psi_{2i}(p_{2i}) \frac{dp_{2i}}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $b_{1i} = \frac{4}{\pi n_{2i}^2 d^2}$; $b_{2i} = \frac{n_{1i} d}{n_{2i}^2}$; $b_{3i} = \frac{D s^3}{3 L v \rho n_{2i}^2 d^2}$; D – средний диаметр зазора ротора и подшипника скольжения делителя потока; s – номинальная величина зазора; L – длина зазора;

Дифференциальное уравнение движения поршня исполнительного гидроцилиндра, перемещающего груз массой m_i :

где $t = \frac{\varphi}{\omega_a}$, ω_a – частота вращения ротора делителя потока;
 $Q_i = q\omega_i$ – расход рабочей жидкости, подаваемой насосом в делитель потока; q – объемная постоянная насоса; ω_i – частота вращения вала насоса; Q_1, Q_2 – расход рабочей жидкости,
 $a_1 = \gamma/\theta$; $b_1 = \beta_1/\theta$; $b_2 = \beta_2/\theta$; m – число циклов вращения ротора 2 делителя потока; θ – угол поворота ротора 2, в течение которого совершается полный цикл подачи рабочей жидкости;
 $k = 2\pi/\theta$ – коэффициент дискретизации.

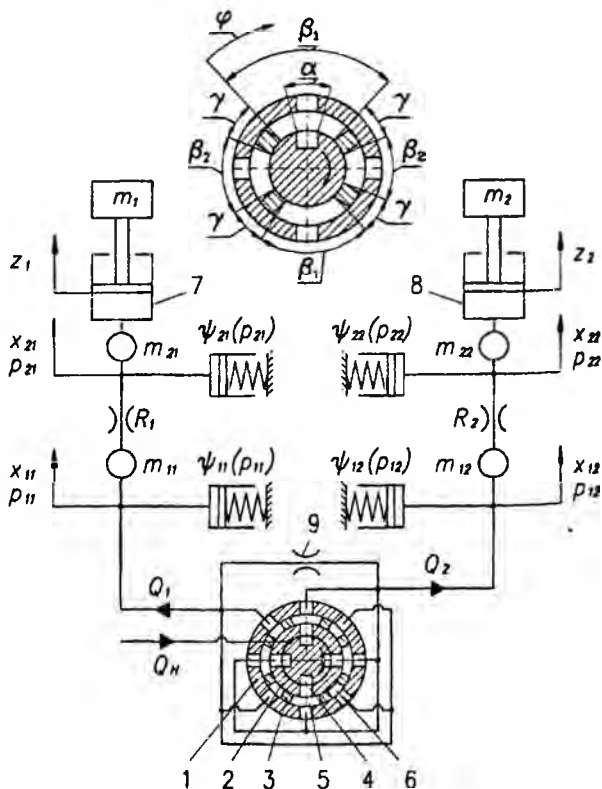


Рис. 1. Расчетная схема гидравлического привода

Строительные и дорожные машины

УДК 69.002.5 – 82

Математическая модель многомоторного гидропривода строительных и дорожных машин

Вавилов А. В., Котлобай А. Я., Котлобай А. А.
Белорусский национальный технический университет

Для обеспечения синхронности работы гидравлических моторов привода ходового оборудования и активных рабочих органов многофункциональных строительных и дорожных машин применяются делители потока [1].

Двухпоточный делитель потока (рис. 1) состоит из корпуса 1, с ротором 2, вращающимся в подшипнике скольжения 3 [2]. На поверхности ротора 2 образованы продольные пазы 4 с центральными углами α , связанные с источником давления. В подшипнике скольжения 3 образованы рабочие камеры 5, 6 с центральными углами β_1, β_2 , связанные с каналами подключения полостей гидроцилиндров 7, 8, со штоками нагруженными грузом массой m_1, m_2 . Рабочие камеры 5, 6 разделены перешейками с центральными углами γ . Между полостями рабочих камер 5, 6 неизбежны перетечки [3], условно образована гидролиния с дросселем 9.

При вращении ротора 2 полости продольных пазов 4 периодически соединяются с полостями камер 5, 6, соединяя рабочие полости гидроцилиндров 7, 8 с источником давления.

Характеристики расхода рабочей жидкости по контурам потребителей [4]:

$$\left. \begin{aligned} Q_1(t) = Q_i, Q_2(t) = 0; \frac{2\pi m}{\omega_a k} \leq t < \frac{2\pi(b_1 + a_1 + m)}{\omega_a k}; \\ Q_1(t) = 0, Q_2(t) = Q_i; \\ \frac{2\pi(b_1 + a_1 + m)}{\omega_a k} \leq t < \frac{2\pi(b_1 + b_2 + 2a_1 + m)}{\omega_a k}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

дисперсных пузырьков, создавая на поверхности пульпы минерализованный слой пены.

Разработанный способ флотации не требует дополнительных затрат энергии, т.к. для его реализации не требуется использования перемешивающих устройств, а создание слоя пены осуществляется за счет маточного раствора, который ранее использовался для получения суспензии на второй перемешивающей камере.

Вторичное обогащение минерализованной пены в поверхностном слое осуществляется за счет подачи маточного раствора на поверхность минерализованной пены непосредственно во флотационной камере из специального устройства.

В ходе выполнения исследований были изготовлены и испытаны на сильвинитовой обогатительной фабрике третьего рудоуправления «ПО «Беларуськалий» (СОФ ЗРУ) пилотные установки каскадной флотации и вторичного обогащения в поверхностном слое.

Проведенные испытания показали работоспособность и эффективность разработанных способов и нового технологического оборудования, внедрение которого позволит интенсифицировать процесс флотации, снизить экономические затраты и повысить извлечение хлорида калия из сильвинитовой руды.

Литература

1. Абрамов, А. А. Флотационные методы обогащения / А. А. Абрамов. – М.: Недра, 1984. – 383 с.
2. Мещеряков, Н. Ф. Флотационные машины и аппараты / А. Ф. Мещеряков. – М.: Недра, 1982. – 280 с.

вращаясь в суспензию, содержащую как гидрофобные частицы (KCl), так и гидрофильные (NaCl).

Образовавшаяся в результате размывания минерализованной пены маточным раствором суспензия поступает на первую перечистку, которая осуществляется во флотокамерах. В перечистных камерах процесс флотации осуществляется точно таким же образом, как и в камерах основной флотации. В результате осуществления первой перечистки качество флотационного концентрата возрастает, вследствие чего увеличивается содержание хлорида калия и уменьшается содержание нерастворимого остатка (глинистых шламов) и хлорида натрия.

Пена, образующаяся в результате первой перечистой флотации, сливается в общий желоб, также где разбавляется маточным раствором и которая затем поступает на вторую перечистку. Пенный продукт второй перечистки в большинстве случаев подаётся на фильтрацию, и образующийся концентрат (кек) направляют на выщелачивание, после которого процесс обогащения и переработки руды завершается.

В ходе осуществления процесса флотационного обогащения в конечном продукте остается сравнительно небольшое количество нерастворимого остатка (глинистых шламов) и NaCl. Хлорид натрия содержится как в сростках кристаллов, состоящих из KCl и NaCl, так и в виде отдельных частичек хлорида натрия, механически унесенных в пенный слой пузырьками воздуха.

Интенсификация процесса флотации направлена на повышение качества флотационного концентрата при уменьшении трудозатрат, связанных с проведением процесса.

Эта задача может быть решена в результате использования разработанного в Белорусском национальном техническом университете способа каскадной флотации, совмещенного с методом вторичного обогащения.

Сущность способа каскадной флотации состоит в том, что создание пены в поверхностном слое осуществляется за счет струй маточного раствора, подаваемых на поверхность пульпы через специальные форсунки, обеспечивающие эжекционный подсос атмосферного воздуха. Аэрированная воздухом струя маточного раствора ударяется о поверхность пульпы и при этом увлекает с собой вглубь жидкой фазы дополнительное количество воздуха, который затем подымается вверх в виде мелко-

**Интенсификация процесса флотации
сильвинитовой руды**

Ледян Ю. П., Селивончик В. В., Пастухов А. В.,
Башкардина Е. А.

Белорусский национальный технический университет

Флотация является одним из основных технологических процессов, определяющим эффективность переработки сильвинитовой руды. На обогатительных фабриках «ПО «Беларуськалий» процесс флотации состоит из трёх – четырёх стадий. На первой стадии (основная флотация) получают черновой концентрат, который затем подвергается двух (а на некоторых фабриках и трёхкратной) перечистке.

Минерализованная пена, образующаяся во флотационной камере на поверхности пульпы содержит не только гидрофобные частицы хлорида калия, но и достаточно большое количество гидрофильных частиц хлорида натрия и глинистых шламов, попадающих в пену в результате механического выноса.

Для снижения количества глинистых шламов и хлорида натрия во флотационном концентрате минерализованную пену необходимо подвергать перечисткам. С этой целью черновой концентрат разбавляют маточным раствором в общем сливном желобе флотокамер основной флотации.

Как основная флотация, так и перечистки осуществляются в стандартных флотационных многокамерных машинах механического типа в которых пена, содержащая частички флотированного минерала, создаётся с помощью механических импеллеров. В мировой практике применяются импеллеры самых различных конструкций, однако, все они по принципу действия практически ничем не отличаются от центробежного насоса.

Под действием центробежной силы, пульпа циркулирует внутри флотационной камеры, насыщается мелкодисперсными пузырьками воздуха, которые вместе с гидрофобными частицами хлорида калия подымаются вверх. Всплывающая на поверхность минерализованная пена сливается через сливной порог флотационной камеры в общий жёлоб, в котором минерализованная пена всех флотационных камер, осуществляющих флотацию или перечистку, размывается маточным раствором, пре-

Таким образом определены основные скоростные ($C_{фр}$, $V_{гр}$, $V_{хв}$) и временные (время добегания $t_{фр}$, $t_{гр}$, $t_{хв}$ и время прохождения волны T) параметры волны прорыва в расчетных створах водотока.

Построение графика движения волны прорыва.

1. В соответствии с картой местности, по которой возможно прохождение волны прорыва, водоток (река) разбивается на участки расчетными створами. Створы рационально проводить нормально к динамической оси потока, в местах расположения населенных пунктов, ответственных сооружений, промпредприятий. Нулевым створом принимается створ разрушенного гидроузла, первый расчетный участок начинается от нулевого створа и оканчивается 1-м створом, второй участок от нулевого створа до 2-го створа и т.д.

2. Определяем параметры волны в нулевом створе.

Высота волны прорыва в нулевом створе $h_0=0,6H$. (13)

3. Находим основные режимы движения волны прорыва на первом участке и параметры, характеризующие ее в первом створе.

- максимальную высоту волны в 1-м створе по формуле (1);
- максимальную скорость тела волны по формуле (3);
- скорость волны на 1-м участке находим по формуле (5).
- время добегания волны до 1-го створа;
- скорость фронта волны в первом створе по формуле (6);
- время прохождения волны через 1-й створ по формуле (9);
- время добегания хвоста волны до 1-го створа по формуле (12).

Аналогично рассчитываются режимы движения волны прорыва и параметры, характеризующие на втором участке и во 2-м створе; на последующих участках и створах.

По данным, полученным на основе расчета, строится график прохождения волны прорыва. Створы рационально проводить в местах расположения населенных пунктов, важных объектов и сооружений, мостов, которым угрожает прохождение волны прорыва.

При построении графика движения волны прорыва для расчета времени добегаания волны для расчетного створа среднюю скорость движения волны на участке предлагается определять по формуле

$$V_{ср}^{zp} = \frac{0,6\sqrt{H^{1,33} \cdot i}}{n \left(\frac{L \cdot i}{2H} \right)^{0,37}} \quad (5)$$

Скорость фронта волны в каждом расчетном створе можно определить по формуле И.В.Еглазарова

$$C_i^{\phi p} = V_0 + \sqrt{gh_6} \left(1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{h_{bi}}{h_6} \right) \quad (6)$$

Скорость хвоста волны прорыва в каждом расчетном створе будет связана с временем прохождения волны через данный створ

$$V_i^{xs} = \frac{L_i}{t_i + T_i}, \quad (7)$$

где L_i - расстояние до расчетного створа от нулевого (створа гидроузла);

t_i - время добегаания волны до расчетного створа;

T_i - время прохождения волны через расчетный створ.

3. Время прохождения волны через створ разрушенного гидроузла предлагается по формуле:

$$T_0 = \frac{4,5 \Omega_{зсрк}}{B\sqrt{2gH}} \quad (8)$$

Время прохождения волны прорыва через расчетный створ можно определить по зависимости $T_i = t_i + 1,024T_0$. (9)

Время добегаания фронта волны

$$t_i^{\phi p} = \frac{L_i}{C_i^{\phi p}} \quad (10)$$

Время добегаания гребня до расчетного створа

$$t_i^{zp} = \frac{L_i}{V_{ср}^{zp} + V_0} \quad (11)$$

Время добегаания хвоста волны $e_i^{xs} = t_i + T_i$. (12)

УДК 532.628:614.843

Методика определения расчетных параметров и построения графика движения волны прорыва по водотоку

Карпенчук И. В., Стриганова М. Ю., Киевец И. М.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

Разрушение гидротехнического сооружения напорного фронта с образованием волны прорыва вызывает катастрофическое затопление местности, причиняя значительный материальный ущерб и создавая угрозу жизни населения. Одним из основных факторов управления ликвидацией чрезвычайных ситуаций при разрушении напорных гидротехнических сооружений является заблаговременное прогнозирование.

Для представления полной картины прохождения волны прорыва, оценка возможных последствий затопления и подготовки исходных данных для планирования мероприятий по защите населения, целесообразно построение графика движения волны прорыва.

Расчет параметров волны прорыва

1. Высота волны прорыва в каждом расчетном створе определяется по формуле

$$h_{\max} = 0,1H \left[0,2 \cdot \frac{L \cdot i}{H} \left(\frac{L \cdot i}{H} - 8,5 \right) + 6 \right], \quad (1)$$

где L – расстояние от створа разрушенной плотины до расчетного створа

Максимальная глубина потока в расчетном створе

$$H_i = h_{bi} + h_6 \quad (2)$$

2. Максимальная скорость тела волны (гребня) в каждом расчетном створе

$$V = \frac{0,6\sqrt{H^{1,33} \cdot i}}{n \left(\frac{L \cdot i}{H} \right)^{0,37}} \quad (3)$$

Скорость течения в расчетном створе

$$V_i = V_0 + V, \quad (4)$$

где V_0 – скорость течения до прихода волны.

дующим образом. Для заданных параметров Q, P_1, P_2, β вычисляем σ_k и $lg\sigma_k$. По построенным графикам определяем n , которое соответствует значению $\sigma_k = \sigma$.

Тогда в силу уравнений (4) и (6):

$$\alpha_0 = \alpha_k n^{2.5} \beta^{0.4} \sigma_k^{1.4} / 4,54. \quad (7)$$

Найденные параметры n и α_0 высоконапорного пеногенератора обеспечивают возникновение в нем кавитации при минимально возможных потерях давления.

При необходимости получения в пеногенераторе более развитого кавитационного режима задаем критическим числом кавитации $\sigma_k > \sigma_k$ и по построенным графикам и формуле (7) определяем необходимые геометрические размеры высоконапорного пеногенератора. Критический параметр кавитации для пеногенератора с новыми геометрическими размерами можно определить по формуле (8).

$$K_{sp} = 1 - \xi' / \sigma_k', \quad (8)$$

где ξ' – коэффициент гидродинамического сопротивления при найденных размерах высоконапорного пеногенератора по формуле (5).

Степень развития кавитации определяется сравнением критического параметра кавитации и параметра кавитации K , определяемого по уравнению (9).

$$\left(\xi^{kav} / \xi \right)_{max} = 1 / (1 - K_{sp}). \quad (9)$$

Данная методика расчета оптимальных параметров кавитационных эжекторов-смесителей работающих в кавитационном режиме, позволяет при наличии основных характеристик высоконапорного пеногенератора решить вопрос о наличии и степени развития кавитации.

Литература

1. Сточек, Н. П. Гидравлика жидкостных ракетных двигателей / Н. П. Сточек, А. С. Шапиро. – М.: Машиностроение, 1983. – 128 с.
2. Альтшуль, А. Д. Примеры расчетов по гидравлике / А. Д. Альтшуль. – М.: Стройиздат, 1976. – 255 с.
3. Рабинович, Е. З. Гидравлика / Е. З. Рабинович. – М.: Недра, 1980. – 278 с.

$$\sigma_k = 4,54\sqrt{n}/m\xi^{0,4}, \quad (3)$$

где $n=S/S_c$; $m=\alpha_k/\alpha_\delta$.

Откуда получаем:

$$\sigma_k = 4,54/m \times n^{2,5} \xi^{0,4}. \quad (4)$$

Коэффициент гидродинамического сопротивления в момент возникновения кавитации принимался равным коэффициенту сопротивления в квадратичной области $\xi=\xi_{кв}$, который определялся как сумма коэффициентов гидродинамического сопротивления конфузора и диффузора [2, 3].

$$\xi_{кв} = k_{конф} (1/n^2)(1-1/\varepsilon)^2 + \sin \alpha_\delta (1-1/n)^2, \quad (5)$$

где $k_{конф}$ – эмпирический коэффициент [5];

$$\varepsilon = 0,57 + 0,043/(1,1-n).$$

Ставится задача отыскания таких значений n и α_δ при заданных параметрах течения жидкости Q, P_1, P_2 геометрических характеристик, зависящих от параметров гидросистемы α_k и S чтобы можно было гарантировать возникновение кавитации в высоконапорном пеногенераторе.

Предлагается численное решение данной задачи. В силу уравнения (2) для выполнения неравенства (1) нам достаточно так определить n и α_δ , чтобы:

$$\xi_{кв} = \beta \sigma_k. \quad (6)$$

Анализ формул (4) и (5) показывает, что существует такая функция $\alpha_\delta=f(n)$, $0 < n < 1$, что при любом $n \in (0,1)$ и $\alpha_\delta=f(n)$ равенство (6) будет выполнено. Подставляя в формулы (4) и (5) при каждом n вместо α_δ значение $f(n)$, мы можем построить график $\alpha_k=\varphi_n$.

Вычисления производятся по следующей схеме. Фиксируется значение угла конфузора α_k ($\alpha_k=10^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 40^\circ$). Затем для каждого из значений $\beta=0,1, 0,2, \dots, 0,7$ организуется цикл по n , которое изменяется от 0,01 до 0,9 с шагом 0,01. Каждый шаг этого цикла включает в себя нахождение методом половинного деления α_δ как корня уравнения (6) с точностью до 2^{-8} градусов (если на отрезке от 1° до 20° корня нет, то полагается $\alpha_\delta=20^\circ$) и вычисление соответствующего значения σ_k . После этого строятся графики зависимости $lg\sigma_k$ от n . Используя полученные зависимости, расчет оптимальных параметров производится сле-

УДК 614.842.6

**Работа в кавитационном режиме пеногенератора
проточного типа системы подслоного тушения резервуаров
нефтепродуктов**

Карпенчук И. В., Пармон В. В., Полешук Г. К.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь
Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и
проблем чрезвычайных ситуаций

При разработке кавитационных высоконапорных пеногенераторов, работающих в гидравлических системах при высоких статических противодавлениях, необходимо наряду с заданными гидродинамическими параметрами течения рабочей жидкости в системе находить оптимальные геометрические характеристики кавитатора, определяющие возникновение и развитие в нем кавитационного режима [1].

Основными характеристиками, определяющими работу высоконапорных пеногенераторов, служат следующие параметры: расход жидкости – Q ; давление на входе в пеногенератор – P_1 ; противодействие на выходе из пеногенератора – P_2 ; угол конусности конфузора – α_k ; угол конусности диффузора – α_d ; площадь узкого сечения пеногенератора – S_c ; площадь входного и выходного сечения, регламентируемая диаметром подводящей и отводящей гидромагистралей системы – S . Зная эти параметры, можно решить вопрос о наличии и степени развития кавитации. Как известно, кавитация будет иметь место, если выполняется следующее неравенство (1).

$$\sigma \leq \sigma_k \quad (1)$$

Оптимальными параметрами будут такие, которые обеспечивают возникновение кавитации в высоконапорном пеногенераторе при минимальных потерях давления, т.е.

$$\sigma = \sigma_k \text{ или } \xi = \beta \sigma_k, \quad (2)$$

где β – параметр, зависящий от противодействия ($\beta = 1 - P_2/P_1$);

σ_k – критическое число кавитации ($\sigma_k = P_1/(\rho v^2/2)$).

Для нахождения искомых критических чисел кавитации используется уравнение (3).

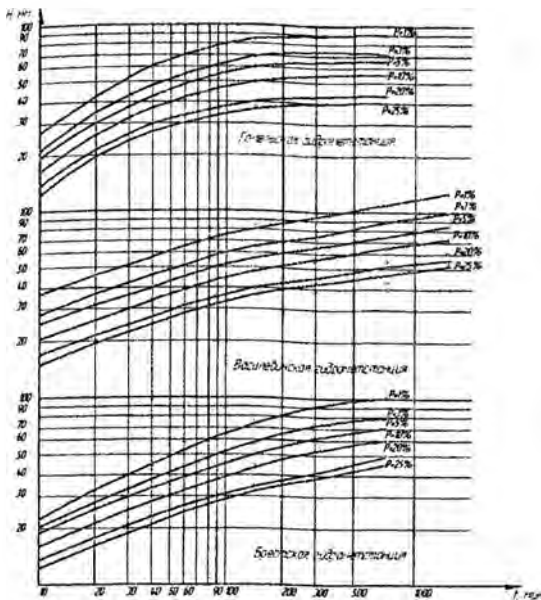


Рисунок 1

Вывод

В результате выполненного исследования получены значения слоев дождевых осадков разной обеспеченности и разной продолжительности ($H_{p,t}$). Эти данные можно использовать в расчетах расходов дождевых паводков на водосборах регионов страны, тяготеющих к гидрометеорологическим станциям в г.г. Гомеле, Василевичах, Бресте.

Литература

1. Юхновец, В. Н. Кривые редукции дождевых осадков по времени по Минской гидрометеорологической станции / В. Н. Юхновец, И. М. Шаталов, И. А. Артамонов // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Четвертой международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ. – Т. 1. – С. – 413–417.

вероятностей. Эта статистическая обработка состояла в расчете и построении на клетчатках вероятностей сначала эмпирических кривых обеспеченности по каждому ряду и затем в подборе теоретических кривых распределения, согласующихся с эмпирическими кривыми. Теоретические кривые распределения необходимы для экстраполяции базовых (эмпирических) кривых в область расчетных обеспеченностей p , %. А подобранной теоретической кривой распределения является та, которая ложится на построенную эмпирическую кривую обеспеченности.

Из теоретических кривых распределения использовались как наиболее научно обоснованные кривые трехпараметрического гамма-распределения. Эти кривые подбирались по параметрам – коэффициенту вариации C_v и коэффициенту асимметрии C_s (использовалось отношение C_s/C_v). Значения C_v и C_s/C_v каждой кривой определялись по данным наблюдений, т.е. по составленным статистическим рядам с использованием метода наибольшего правдоподобия, согласно которому значения C_v и C_s/C_v снимались с номограмм.

Снятые с номограмм значения C_v и C_s/C_v по всем 30 кривым распределения позволили определить по специальным таблицам значения переходных коэффициентов K_p этих кривых во всем диапазоне обеспеченностей p , %.

После подбора теоретических кривых распределения вычислены искомые значения слоев дождевых осадков разной обеспеченности и продолжительности $H_{p,t}$ определены по формуле

$$H_{p,t} = \bar{H} \cdot K_p. \quad (1)$$

По результатам исследования построены графики (рисунок 1), показывающие значения слоев дождевых осадков любой продолжительности в регионах, примыкающих к Василевичской, Гомельской и Брестской гидрометеостанциям.

Если ординаты $H_{p,t}$, снятые с кривых на рисунке 1 разделить на известное значение суточного слоя осадков $H_{1\%}$ [1], то получаем значения необходимых ординат кривых редукции $\Psi_{(H_{1\%}, t)}$.

УДК 556

**Стокообразующие слои дождевых осадков в регионах
Республики Беларусь, географически близких
к гидрометеорологическим станциям
г.г. Брест, Гомель, Василевичи**

Киевец И. М., Юхновец В. Н., Шаталов И. М., Дмитриев Ю. В.
Белорусский национальный технический университет

Целью исследования явилось получение значений стокообразующих слоев дождевых осадков в регионах страны, указанных в заголовке работы, для их трансформации в дальнейших исследованиях в расчетные расходы дождевых паводков через ординаты кривых редукции осадков по времени $\Psi_{(H1\%)}$.

Для получения значений слоев дождевых осадков $H_{p,t}$ разовой обеспеченности p , % и продолжительности t , мин выполнена обработка записей всех дождей (плювиограмм) плювиографами за 30 лет – с 1971 г. по 2000 г. Обработка состояла в анализе интенсивностей дождей (мм/мин) по разным временным интервалам, измеряемых в минутах 10, 20, 40, 60, 90, 150, 300, 720, 1440, 2880 минут.

Плювиограммы позволили получить слои осадков за каждый временной интервал по каждому дождю за весь период наблюдений. Из полученного на основе указанного анализа массива данных наблюдений выбирался один максимум в году по каждому временному интервалу. При этом соблюдалось условие, чтобы за больший интервал времени был и больший слой дождевых осадков, что приводило в отдельных случаях к изъятию некоторых максимумом, когда они в хронологической последовательности оказывались меньшими относительно впереди размещаемых. Таким образом, были составлены статистические ряды дождевых осадков по каждому временному интервалу по всем трем гидрометеорологическим станциям общим количеством 30 шт. К обработке записей дождей самописцами и составлению указанных статистических рядов осадков привлекались студенты гр.110134 Евстратьев А.И., Кучеров А.В., которые докладывали результаты своих исследований, выполненных под руководством авторов настоящего доклада, на СНТК 2007 г.

Полученные статистические ряды осадков подвергались статистической обработке с использованием кривых распределения

преграду. Из графика на рис. 5.2 видно, что оптимальная длина сопла определяется соотношением $l_c = (4-5)d_c$.

На рис. 5.3 приведены результаты по изучению влияния угла сходимости смесительного сопла 2α на эффективность работы струйного аппарата. Из графиков видно, что с увеличением угла 2α от 0 до 40° массовый съем возрастает и достигает максимального значения при $\theta = 40^\circ$. При дальнейшем возрастании угла 2α отмечается снижение зависимости $\Delta m = f(2\alpha)$, что очевидно, можно объяснить динамическими (скоростными) характеристиками струи, которые достигают своего максимального значения при $2\alpha = 40^\circ$.

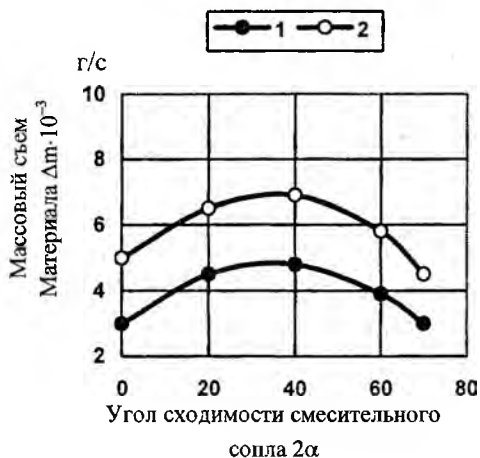


Рис. 5.3. Зависимость массового съема материала Δm от угла сходимости 2α при $p_B = 10$ МПа; $d_c = 3$ мм (1); 5 мм (2); $l_c/d_c = 5$

Оценивая полученные результаты можно сделать выводы о том, что они в совокупности представляют научно-экспериментальную базу данных, на основе которой может осуществляться разработка технологического процесса ГАО. При этом, полученные данные позволяют разработать техпроцесс, реализуемый с минимальными затратами мощности и с оптимальным (по микронеровности) качеством обработанной поверхности.

7) d_c , угол сходимости $2\alpha = 13-60^\circ$, расстояние между соплами $a = (-0,5-2,5)d_a$.

По результатам проведенных экспериментов были установлены зависимости, характеризующие массовый съем металла от конструктивно-геометрических параметров струйного аппарата. Оптимальными для данного диаметра смесительного сопла считались геометрические параметры, при которых обеспечивался максимальный съем металла.

Разгон гидроабразивной жидкости осуществляется в смесительном сопле. Здесь же происходит выравнивание полей скоростей компонентов смеси. На выходе из смесительного сопла должно быть обеспечено равномерное поле скоростей и заданный угол раскрытия струи. Для выяснения степени влияния длины смесительного сопла на эффективность работы струйного аппарата были проведены эксперименты при следующих геометрических параметрах: $l_c = 5-50$ мм; $d_c = 3-9$ мм, $l_c = 1,0$ мм; $a = 3$ мм. Эксперименты показали, что с увеличением отношения l_c/d_c от 1,0 до 5 массовый съем материала с поверхности увеличивается (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Влияние относительной длины смесительного сопла на величину Δm при $p_{вх} = 10$ МПа; при $d_c = 5$ мм (3), 4 мм (2), 3 мм (1); угол сходимости $2\alpha = 40^\circ$

Дальнейшее увеличение l_c/d_c приводит к возникновению пульсаций и снижению съема металла струи и, как следствие, рассеянию энергии и снижению силового воздействия струи на

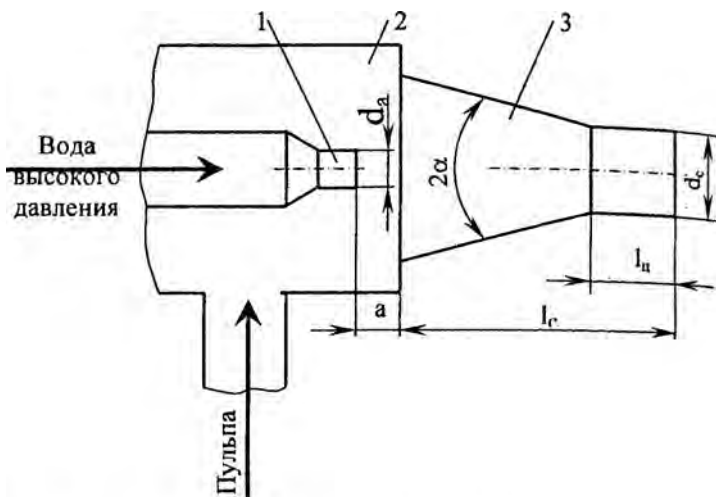


Рис. 5.1. Схема струйной эжекционной насадки:

1 – активное сопло; 2 – приемная камера; 3 – смесительное сопло

Эффективность работы струйного аппарата оценивалась по массовому съему металла в единицу времени. Эксперименты выполнялись на плоских образцах из стали ВСтЗсп с размерами $4 \times 50 \times 50$ мм. Массовый съем металла определяется взвешиванием до и после ГАО на аналитических весах ВЛЛ-200М. Образцы обрабатывались при следующих постоянных параметрах: абразивный материал – речной песок ($\bar{N} = 500$ мкм); концентрация абразивного материала в суспензии $C = 20\%$; длина струи $L = 190$ мм; угол атаки $\beta = 70^\circ$; время обработки $t = 3$ мин. Варьируемыми параметрами были: давление воды на входе в активное сопло $p_{вх} = 7, 9, 11, 13, 15$ МПа, а также геометрические параметры струйного аппарата: d_c ; d_a ; a ; l_c ; 2α . Активные сопла с диаметрами $d_a = 1,5-8$ мм и смесительные с диаметром $d_c = 2-10$ мм изготавливались из стали У10А с закалкой HRC 53-55. Внутренняя поверхность сопел шлифовалась до $R_A = 0,63-1,25$ мкм. Длина смесительного сопла изменялась в диапазоне $l_c = (2-$

УДК 629.12

**К вопросу определения геометрических параметров
струйного аппарата для гидроабразивной очистки
корпусов судов от коррозии**

Качанов И. В., Яглов В. Н., Клищевский В. Ф.,
Филипчик А. В., Жук А. Н., Щерба А. Н.

Белорусский национальный технический университет,
Белорусская инспекция Речного Регистра

Одним из направлений повышения производительности и улучшения условий труда при очистке корпусов судов от коррозии является использование метода гидроабразивной очистки (ГАО). Сущность метода состоит в том, что в рабочую зону очистки под большим давлением подают водно-песчаную смесь (пульпу). В струйных аппаратах ГАО интенсивное смешивание песка с водой происходит в смесительном сопле. Производительность ГАО до чистого металла может составлять до 45-60 м²/час.

Исследования, проведенные в НИИЛ «Водохозяйственные системы» БНТУ показали, что эффективность и стабильность работы струйного аппарата зависит от конструкции отдельных его элементов и их взаимного расположения.

Основными геометрическими параметрами струйного аппарата с коническим смесительным соплом, определяющим его скоростные и расходные характеристики, являются:

диаметр смесительного сопла d_c ;

диаметр активного сопла (жиклера) d_a ;

расстояние между выходным сечением активного сопла и входным сечением смесительного сопла a ;

длина смесительного сопла l_c ;

длина цилиндрической части смесительного сопла l_c ;

угол сходимости конусной части смесительного сопла 2α (рис. 5.1).

$$I = \int_0^t p(t) dt \text{ при различных параметрах скважины и взрывной}$$

камеры. Вследствие потерь энергии, пульсации скорости и давления продуктов взрыва имеют затухающий характер.

Обработка результатов вычислений позволила предложить формулу для расчета импульса давления I для стадии расширения продуктов взрыва (при $m = 10$ и $E = 8$ МПа), которая имеет вид:

$$I = mp_0 \cdot k_n \cdot k_\phi \cdot \left(\frac{R_1}{R_\phi} \right)^{0,7} \frac{(l_\phi - a)^{0,015} \cdot (l_\phi + l_K - a)^{0,08} \cdot (1 + \delta)^{20}}{R_K^{0,79}} \quad (4)$$

где $k_n = 1,57 - 0,51 \cdot n + 0,032 \cdot n^2$ – коэффициент, учитывающий влияние коэффициента политропы n , $k_\phi = 0,00164 - 0,006 \cdot R_\phi + 0,43 \cdot R_\phi^2 - 0,86 \cdot R_\phi^3$. Значения переменных следует задавать в метрах. Ограничения на использование формулы следующие: $R_\phi \in [0,08; 0,25]$, $0,35R_\phi \leq R_1 \leq 0,55R_\phi$, $R_\phi \leq R_K \leq 2R_\phi$, $l_K \in [20; 100]$, $(l_\phi - a) \in [2; 18]$, $\delta \in [0,001; 0,005]$, $n \in [1,17; 1,81]$. Анализ формулы (4) показывает, что импульс давления I имеет практически линейный рост при возрастании длины фильтра и колонны (поскольку от них линейно зависит глубина H и, соответственно, давление p_0 , а множители $(l_\phi - a)^{0,015}$ и $(l_\phi + l_K - a)^{0,08}$ вносят несущественный вклад), уменьшается с увеличением R_K и n , но увеличивается с ростом δ .

Литература

1. Ивашечкин, В. В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин/В. В. Ивашечкин; под ред. А. Д. Гуриновича. – Мн.: БНТУ, 2005. – 270 с.
2. Наугольных, К. А. Электрические разряды в воде /К. А. Наугольных, Н. А. Рой. – М.: Наука, 1971. – 155 с.

энергии $W_{(R-\delta)}$, на работу A над окружающей жидкостью и на работу $A_{об}$ растяжения тонкостенной упругой оболочки:

$$A + A_{об} + W_{(R-\delta)} = \mathcal{E}_1. \quad (1)$$

Окончательно уравнение имеет вид:

$$\int_{4\pi R_1^2}^{4\pi(R_1-\delta)^2} p_l dV + 4\pi E \delta (R - R_1)^2 + \frac{4\pi p_0 \pi (R_1 - \delta)^m}{3(n-1)} (R - \delta)^{3(n-1)} = \frac{4\pi p_0 \pi (R_1 - \delta)^2}{3(n-1)}, \quad (2)$$

где p_l – давление на оболочку со стороны жидкости в скважине в процессе движения.

Давление p_l найдем из уравнения Д. Бернулли на случай неустановившегося движения, записанного для сечения I – I, совпадающего с наружной поверхностью сферической оболочки и сечения II – II, проходящего по уровню воды в скважине (рис. 1). Плоскость сравнения проводим через центр шара.

Используем следующие допущения: стенки скважины абсолютно жесткие и непроницаемые; давление продуктов взрыва по всему объему полости одинаково.

С учетом сил инерции и сил трения выражение для давления p_l на оболочку со стороны жидкости во время пульсации имеет вид

$$p_l = \rho g \cdot \left[H + \frac{P_{вм}}{\rho g} + \frac{4}{3} \cdot \frac{R^3 - R_1^3}{R_1^2} + \frac{\alpha}{g} \left(\frac{8R^4}{R_1^4} - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{2R^4 \left[1 - \left(\frac{R_\phi^2 - R^2}{R_\phi^2} \right)^2 \right]}{g\mu^2 (R_\phi^2 - R^2)^2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{4}{g} \left(\frac{l_\phi - a}{R_\phi^2} + \frac{l_\phi}{R_1^2} \right) \frac{d \left(R^2 \frac{dR}{dt} \right)}{dt} + \frac{4}{g} \left[\lambda_\phi \frac{l_\phi - a}{R_\phi^2} + \lambda_\phi \frac{l_\phi}{R_1^2} + \frac{2}{R_1^4} \left(\frac{R_1^2}{R_\phi^2} - 1 \right)^2 \right] \cdot R^4 \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения; μ - коэффициент расхода кольцевого отверстия между взрывной камерой и стенкой фильтра.

Для нахождения решения уравнения (2) использовались численные методы (а именно, метод Рунге-Кутты-Мерсона). В результате составлена программа расчета, которая позволяет получить зависимости $R(t)$, $v(t)$, $p(t)$ и значения импульса давления

УДК 628.112

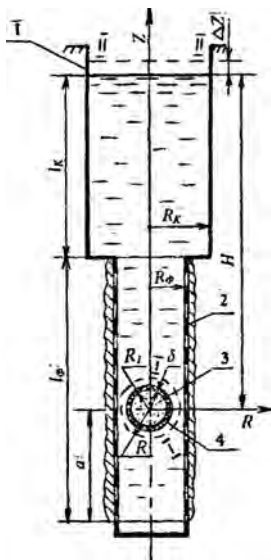
Динамика пульсаций шаровой полости с продуктами газового взрыва в водозаборной скважине

Ивашечкин В. В., Верменюк В. В., Чернобылец А. Н.
Белорусский национальный технический университет

Подводный газовый взрыв нашел свое применение при восстановлении снизивших дебит скважин [1].

Целью настоящей работы является теоретический расчет пульсаций сферической взрывной камеры с эластичной оболочкой в скважине.

Расчетная схема пульсаций представлена на рис. 1.



Пусть в фильтре скважины имеется сферическая взрывная камера с энергоносителем с наружным радиусом R_1 , имеющая тонкостенную упругую оболочку толщиной δ менее $0,1R_1$. Пусть в энергоносителе произошло быстрое химическое превращение – взрыв.

Камера практически мгновенно оказывается заполненной продуктами взрыва с одинаковым и равным по всему объему давлением $p_1 = m p_0$, где m – степень возрастания

давления, p_0 – гидростатическое давление. Камера радиально расширяется. Жидкость можно считать несжимаемой [2].

Согласно первому закону термодинамики, начальная энергия продуктов взрыва \mathcal{E}_1 расходуется на увеличение их внутренней

Разработана программа для расчета мощности на валу турбины с помощью компьютера, используя сигналы с датчиков усилия растяжения и числа оборотов вала, т.е. можно непосредственно в процессе эксперимента определять мощность на валу турбины N .

Результаты измерения мощности на валу гидротурбины в диапазоне частот вращения вала $n=0,2-0,5$ 1/с при скорости потока воды $V_1=0,6$ м/с представлены на рис. 3.

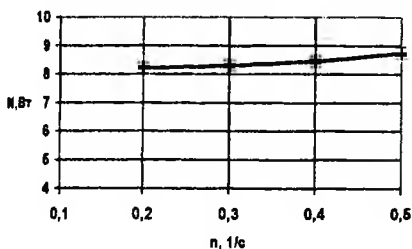


Рис. 6. Зависимость мощности на валу гидротурбины N от частоты вращения вала гидротурбины n при скорости потока $V=0,6$ м/с и мощности потока воды $N_v=11,5$ Вт

Таким образом, получено, что к.п.д. модели низконапорной лопастной гидротурбины $\eta=76-78\%$

Выводы

Разработана конструкция расположенной на вертикальном валу низконапорной лопастной гидротурбины, способной круглогодично вырабатывать электроэнергию. В результате испытаний модели гидротурбины установлено, что ее к.п.д. $\eta=76-78\%$, что на 30-33% превышает к.п.д. известных низконапорных лопастных турбин.

Литература

1. Справочник по гидротурбинам: Справочник / В. Б. Андреев, Г. А. Броновский [и др.]; под общ. ред. Н. Н. Ковалева. – Л.: Машиностроение, 1984. – 496 с.
2. Гидроагрегат: патент 3031 Респ. Беларусь на полезную модель от 15.06.2006 г. / Б. М. Хрусталева, В. К. Недбальский, В. Д. Сизов, И. М. Шаталов, А. Е. Куриленко [и др.].

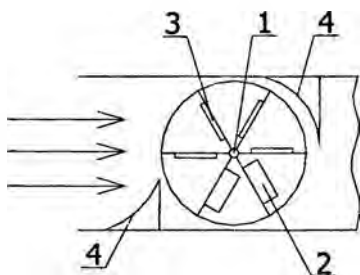


Рис. 1а. Схема модели турбины (вид сверху): 1 – вал турбины, 2 – лопатки лопастей в пассивной зоне потока, 3 – лопатки лопастей в активной зоне потока, 4 – направляющие пластины распределяющего устройства потока воды

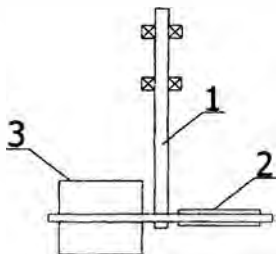


Рис. 1б. Схема модели турбины (вид сбоку): 1 – вал турбины, 2 – лопатки лопастей в пассивной зоне потока, 3 – лопатки лопастей в активной зоне потока

Для измерения мощности на валу турбины, предложено и изготовлено устройство, схема которого представлена на рис.2.

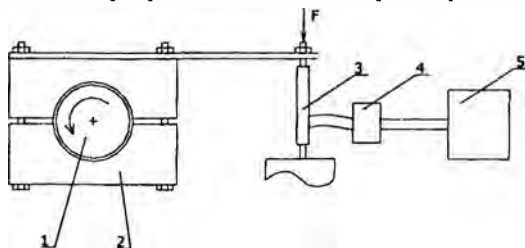


Рис. 2. Схема устройства для измерения мощности на валу турбины: 1 – вал турбины, 2 – тормозные колодки, 3 – датчик усилия растяжения, 4 – усилитель сигналов, 5 – компьютер

УДК 502.7:626.86

**Разработка и экспериментальные исследования макета
низконапорной лопастной гидротурбины с повышенным
коэффициентом полезного действия**

Чернобылец А. Н., Недбальский В. К., Куриленко А. Е.,
Мяделец С. О.
Белорусский национальный технический университет

В связи с непрерывным удорожением энергоносителей необходимо максимально использовать гидроэнергетический потенциал республики. В географических условиях Беларуси экономически невыгодно повсеместно строить высоконапорные плотины. Для выработки электроэнергии на малых водотоках необходимо устанавливать лопастные турбины. В то же время у известных лопастных турбин коэффициент полезного действия не превышает 40-45% [1].

Для увеличения к.п.д. гидротурбины необходимо, чтобы турбина вращалась с минимальными потерями энергии. Поэтому была предложена конструкция гидротурбины, у которой каждая лопасть состоит из двух лопаток, установленных на осях с возможностью поворота на угол 85° . Вследствие этого лопатки лопастей раскрываются в активной зоне воздействия потока и складываются в пассивной зоне.

В то же время турбина, расположенная на горизонтальном валу, не может вырабатывать электроэнергию в зимний период времени. Поэтому и было предложено установить гидротурбину на вертикальном валу. Разработана и изготовлена модель гидротурбины, схема которой приведена на рис.1а (вид сверху) и рис.1б (вид сбоку) представляющая собой осевое колесо со спицами, закрепленное на вертикальном валу 1, при этом на спицах расположены образующие лопасти парные лопатки, установленные с возможностью поворота навстречу друг другу.

Для обеспечения минимальных потерь энергии, лопатки располагаются в плоскости лопасти в активной зоне воздействия потока 3 и складываются в пассивной зоне 2, при этом лобовое сопротивление при движении сложенных лопастей минимальное. На конструкцию турбины, расположенной на вертикальном валу, получен патент Республики Беларусь на полезную модель [2].

ной редуктору 7 ЭВМ 16 программой, заданный объем воздуха нагнетается в штоковую полость 14 силового цилиндра 5 до заданного давления. При этом спортсмен непрерывно воздействует на рукоятку 1, пытаясь переместить рычаг 2. В это же время по программе, заданной ЭВМ 16 редуктору 8, изменяется диаметр отверстия через которое воздух вытесняется из штоковой полости 14, или величина давления в штоковой полости при достижении которой воздух стравливается в атмосферу. Воздух из штоковой полости 14 вытесняется под действием усилия прилагаемого рукой к рукоятке 1 в следствие чего проворачивается ось 12 вместе с приводным валом 3 и диском 17, который через трос 18 соединен со штоком 4 силового цилиндра 5. Прикладываемому армрестлером усилию будет противопоставляться усилие создаваемое давлением сжатого воздуха в штоковой полости цилиндра 5. В процессе воздействия на рукоять 1 спортсмен будет преодолевать сопротивление оказываемое со стороны пневмоцилиндра 5 и вытеснять воздух из штоковой полости 14. При этом величина преодолеваемых инерционных нагрузок будет незначительной, из-за относительно малых масс элементов данного тренажера (поршень, шток и т.д.), участвующих в передаче нагрузки на рукоять 1.

Выводы:

Разработанный способ создания силовой нагрузки в тренажере для армрестлинга обеспечивает эффективную работу тренажера и учитывает специфику данного вида спорта, что позволяет быстрее повысить спортивное мастерство армрестлера, а также может применяться в других спортивных и реабилитационных устройствах.

Литература

1. Герц, Е. В. Пневматические устройства и системы в машиностроении / Е. В. Герц [и др.]. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с., ил.
2. Устройство для тренировки армрестлеров: пат. 2580 Респ. Беларусь, МКИ А 63В 21/00 / И. В. Качанов, И. В. Бельский, А. Э. Павлович, А. А. Шелег.

Биомеханика в армрестлинге имеет свою специфику. Она заключается в том, что в ходе борьбы возникают быстротечные изменения векторов скоростей и усилий, создаваемых биозвеньями спортсменов друг на друга, вследствие чего происходит смена режимов работы нервномышечной системы спортсмена. Эта специфика армрестлинга задает определенные условия к проектированию тренажеров для этого вида спорта.

Один из вариантов конструкции тренажера на основе пневмопривода, учитывающих эти условия, приведен на рис.2. Данное устройство содержит рукоятку 1, закрепленную на рычаге 2, который соединен с приводным валом 3. Приводной вал 3 соединен, в свою очередь, со штоком 4 силового цилиндра 5. Вход 6 силового цилиндра 5 сообщен через регулятор давления, образованный редукторами следящего действия 7, 8, и обратный клапан 9 с компрессором 13. С помощью шарнирного зажима 10 рукоятка 1 закреплена на рычаге 2, который, в свою очередь, с помощью шарнирного зажима 11 закреплен на приводном валу 3. Рычаг 2 снабжен также осью 12. Приводной вал 3 соединен со штоком 4 силового цилиндра 5 посредством тросо-блочной системы, состоящей из закрепленного на приводном валу диска 17 и троса 18. Перед редуктором следящего действия 7 установлен манометр 19, а перед редуктором следящего действия 8 установлен манометр 15. Управление редукторами следящего действия 7, 8 осуществляется ЭВМ 16.

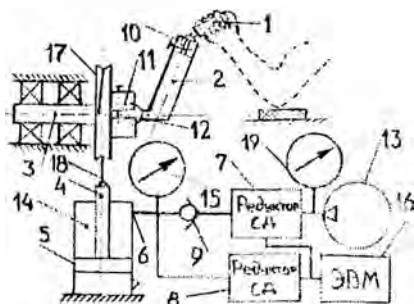


Рис.2. Спортивный тренажер для армрестлинга на основе пневмопривода

Для выполнения упражнения сжатый воздух подают на вход редуктора следящего действия 7. Затем, в соответствии с задан-

Способ создания силовой нагрузки в тренажерах для армрестлинга

Качанов И. В., Шелег А. А.

Белорусский национальный технический университет

Практика применения пневмоприводов в промышленности доказала их прогрессивную роль в развитии техники. Благодаря таким важным для большинства случаев применения преимуществам пневмоприводов, как малая масса и объем, приходящиеся на единицу передаваемой мощности, высокий к. п. д., надежность действия, простота автоматизации управления, быстродействие, а также возможность бесступенчатого регулирования выходной скорости в широком диапазоне, пневмоприводы нашли широкое применение в самых различных отраслях машиностроения. В области создания тренажеров одним из основных преимуществ применения пневмосистем, создающих силовую нагрузку, является отсутствие влияния инерционных сил на кривую сопротивления (Рис.1) в отличие от обычных силовых тренажеров в которых инерционные силы искажают кривые сопротивления, особенно при высоких скоростях, что приводит к травмам. Даже при использовании эксцентриков силовые тренажеры могут должным образом работать только с медленными контролируруемыми движениями.

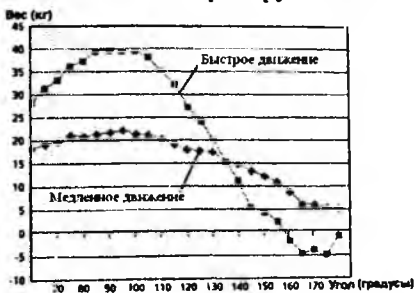


Рис. 1. Кривая сопротивления при использовании обычного силового тренажера

Ввиду этого разработана пневматическая система на основе которой создан тренажер для армрестлинга. Данный тренажер сконструирован как для атлетических тренировок, так и для реабилитации и предназначен для совершенствования тренировочного процесса в таком виде спорта как армрестлинг

(борьба на руках). Тренировочный процесс данного вида спорта недостаточно обеспечен техническими средствами.

гент от нагнетательного к всасывающему сектору циркулировал в прифилтровой зоне скважины в течение 50 минут, растворяя коагулирующий осадок. Затем после циркуляции реагента насос отключался, и реагент взаимодействовал с коагулянтном в режиме реагентной ванны в течение 2 – х часов. Далее производился слив отработанных продуктов реакции до полного их удаления, и проводили гидравлические испытания скважины после регенерации. Далее определялся удельный дебит модели скважины после регенерации при постоянном расходе, а также показатель обобщенного сопротивления (Табл. 2).

Таблица 2 – Эффективность циркуляционной регенерации

Условия эксперимента	Удельный дебит, см ³ /с		Показатель обобщ. сопротивления	
	До обработки	после	До обработки	после
Закоагулирован фильтр и прифилтровая зона; количество секторов – 2; Первонач. уд. дебит 11,1 см ³ /с	4.9	8.9	9,12	4,49
Закоагулирован только фильтр; количество секторов – 2; Первонач. уд. дебит 11,1 см ³ /с	7.0	9.33	6.65	3.55
Закоагулирован только фильтр, количество секторов – 2; Первонач. уд. дебит 11,1 см ³ /с	6.8	8.13	12.65	10.93
Закоагулирована только прифилтровая зона. Режим – «реагентная ванна». Продолжительность регенерации t = 18 час. Первонач. уд. дебит 11,1 см ³ /с	4.2	5.1	8.92	8.38

Анализ данных табл. 2 показывает, что удельный дебит после циркуляционной регенерации возрос в среднем в 1,5 раза и достиг в среднем 79% от первоначального. В режиме «реагентная ванна» удалось повысить удельный дебит в 1,2 раза, что составило 46% от первоначального. Это свидетельствует об эффективности проведения восстановительных работ циркуляционным способом, при существенном сокращении продолжительности регенерации.

ный период (5-10 лет и более лет). Характеристика железосодержащего осадка приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав железосодержащего осадка

Вид колыматанта и условия эксперимента	Химический состав железосодержащего осадка, %			
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	потери при прокаливании
Осадок станции обезжелезивания водозабора «Островы»; колыматировалась прифильтровая зона	16,2	28,55	13,64	24,83
Осадок из водоподъемных труб скважины № 21 г в/з Боровляны; колыматировался фильтр	7,86	66,33	6,44	12,04

Помимо фильтра скважины прифильтровая зона скважины вокруг фильтра заполнялась смесью состоящей из гравия, колыматирующего осадка и цемента М 500. Смесью предварительно затворялась водой, высушивалась и дробилась на конгломератобразные структуры, представляющие собой дегидратированные соединения. Затем загружалась в фильтрационный лоток и совместно с грунтом водоносного пласта послойно трамбовалась. Далее заполненный водой при температуре 16 °С фильтрационный лоток отстаивался сутки. После этого проводились гидравлические испытания скважины с целью определения основных гидродинамических параметров: производительности и понижения в скважине.

Процесс растворения дегидратированных соединений железа осуществлялся при помощи сильного восстановителя – дитионита натрия (Na₂S₂O₄) раствора 10 % концентрации с добавлением 1 % раствора триполифосфата натрия (Na₅P₃O₁₀). Количество реагента определялось по известной методике. Готовый раствор помещался в емкость для реагента, установленного выше статического уровня воды (Рис. 1). Температура предварительно отстоянной воды в резервуаре и в фильтрационном лотке не превышала 16 °С, что является необходимым условием применения дитионита натрия в качестве реагента.

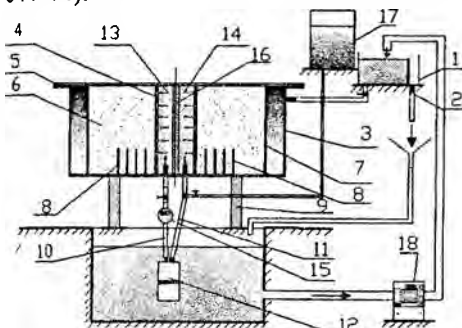
Теоретически и экспериментально установлено, что максимальная скорость в прифильтровой зоне достигается при двухсекторной схеме. Первым этапом циркуляционной регенерации была подача реагента из емкости по шлангу в фильтр и прифильтровую область скважины. Далее включали насос, и реа-

Циркуляционная регенерация фильтра скважины

Шейко А. М., Ивашечкин В. В.

Белорусский национальный технический университет

Цель работы – исследовать в лабораторных условиях эффективность применения циркуляционно-реагентной регенерации скважины, фильтр которой в процессе обработки разделен на нагнетающие и всасывающие сектора. Процесс циркуляционной регенерации осуществлялся на экспериментальной установке, состоящей из круглого фильтрационного лотка, в центр которого помещалась модель фильтра скважины (Рис. 1). Фильтр представлял собой трубчатый полиэтиленовый каркас диаметром 0,225 м обмотанный проволокой $d = 2$ мм (по ТУ 51–644–74).



1 - напорный бак; 2 - холостой слив; 3 - фильтрационный лоток; 4 - закольцованный фильтр скважины; 5 - крышка фильтрационного лотка; 6 - водовмещающий грунт; 7 - кольцевой бьеф; 8 - пьезометры; 9 - стойка; 10 - нагнетательный трубопровод; 11 - отводящий трубопровод; 12 - насос «Ручеек-1»; 13 - нагнетательный сектор; 14 - всасывающий сектор; 15 - счетчик воды СХВ; 16 - разделительный вертикальный пакер; 17 - емкость для реагента; 18 - насос;

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для отработки процесса циркуляционной регенерации

Методика проведения экспериментальных исследований. Для оценки эффективности процесса циркуляционной регенерации модель фильтра скважины и прифилтровая зона искусственно кольматировалась смесью железосодержащего осадка и цемента марки М 500. Добавка цемента к кольматанту способствовала сцеплению и удержанию кольматирующего осадка на наружной и внутренней поверхности фильтра, а также в прифилт-

ровой зоне скважины, что имитировало естественную химическую кольматацию скважины, эксплуатировавшейся длитель-

Сила трения в кольцевом канале может быть рассчитана по формуле: $T_k = \tau_{\text{мыб}} \partial \pi d_2 + \tau_{\text{сет}} \pi d_1 = \pi d (\tau_{\text{мыб}} d_2 + \tau_{\text{сет}} d_1)$, (7)

где $\tau_{\text{мыб}}$ – касательное напряжение на стенке тубуса, в котором находится твердофазный источник; $\tau_{\text{сет}}$ – касательное напряжение на стенке цилиндрической сетки, в которую помещен коаксиальный источник; d_2 – внутренний диаметр тубуса; d_1 – внешний диаметр сетки источника.

Сила трения в центральном канале может быть рассчитана по формуле: $T_0 = \tau_0 \pi d_0$, (8)

где τ_0 – касательное напряжение на внутренней стенке центрального канала смачивателя; d_0 – диаметр центрального канала смачивателя.

После преобразования можно определить диаметр центрального канала смачивателя: $d_0 = \frac{\tau_0 (d_2^2 - d_1^2)}{\tau_{\text{мыб}} d_2 - \tau_{\text{сет}} d_1}$. (9)

Касательное напряжение связано с коэффициентом гидравлического трения зависимостью: $\tau = \frac{\rho v^2 \lambda}{8}$, (10)

где λ – коэффициент гидравлического трения; v – средняя скорость.

Следует отметить, что и данный расчет является приближенным, так как не учитывает следующие факторы. Раствор ПАВ при растворении твердофазного источника является не ньютоновской жидкостью, для которой возникающие касательные напряжения являются функцией скорости сдвига и динамической вязкости такого раствора не постоянна. Кроме того, наружный и внутренний диаметр твердофазного источника в процессе растворения будет изменяться. Поэтому гидродинамика движения жидкости при растворении твердофазного источника смачивателя и пенообразователя будет более сложной и эти факторы необходимо учитывать в дальнейшем при проектировании конструкции тубуса и размеров источника. Необходим ряд исследований по определению реологических характеристик растворов, полученных при растворении.

объема и проектирующиеся в ноль на ось $x-x$; сила тяжести (вес объема жидкости между сечениями 1-1 и 2-2) направленная вертикально вниз (в виду ее малостью по сравнению с другими силами – пренебрегаем); сила сопротивления движению.

Допускаем, что все частицы жидкости движутся с одинаковыми скоростями, равными средним скоростям потока в каналах при обтекании коаксиального источника. Сила сопротивления будет равна силе трения, возникающей на боковых поверхностях выделенного объема. Касательное напряжение на стенке обозначим через τ , то полная сила трения T будет равна:

$$T = \tau \chi dl, \quad (1)$$

где χ – смоченный периметр рассматриваемого объема.

С другой стороны:

$$T = T_k + T_0, \quad (2)$$

где T_k – сила трения в кольцевом канале; T_0 – сила трения во внутреннем канале.

Рассмотрим схему течения, представленную на рисунке.

Составим сумму проекций всех перечисленных сил с учетом сделанных допущений на ось $x-x$, параллельную оси потока:

$$F_1 - F_2 - T = 0, \quad (3)$$

где F_1 и F_2 – силы давления в сечениях 1-1 и 2-2.

Произведя соответствующие подстановки получим:

$$\Delta p S = \tau \chi dl, \quad (4)$$

где Δp – потери давления на участке dl ; S – площадь сечения потока.

Тогда для всего источника смачивателя уравнение (4) примет

$$\text{вид:} \quad \Delta p S = \int_0^l \tau \chi dl = \tau \chi l. \quad (5)$$

Для обеспечения равномерности растворения твердофазного источника потоком и постоянства концентрации получаемого раствора необходимо равенство сил трения и расходов жидкости в кольцевом и центральном каналах источника:

$$T_k = T_0, \quad Q_k = Q_0 \quad \text{и} \quad Q = Q_k + Q_0, \quad (6)$$

где Q , Q_k и Q_0 – соответственно общий расход и расход в кольцевом канале и в центральном канале.

Судостроение и гидравлика

УДК 614.842.6

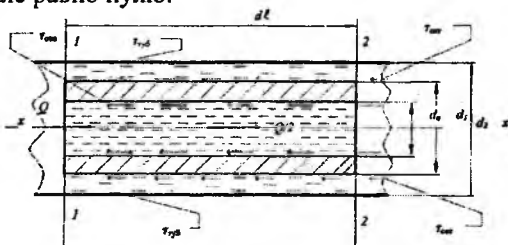
Применение коаксиальных твердофазных источников ПАВ для повышения эффективности ручных стволов

Ледян Ю. П., Карпенчук И. В., Леоник Д. А.

Белорусский национальный технический университет
Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций»
МЧС Республики Беларусь

При использовании твердофазных источников смачивателей и пенообразователей основной задачей является обеспечение постоянства концентрации огнетушащего раствора. Поставленная задача может быть достигнута использованием твердофазного источника трубчатой формы с коаксиальным цилиндрическим каналом.

Выделим в потоке, обтекающем твердотельный коаксиальный источник некоторый объем малой длины dl ограниченный сечениями 1-1 и 2-2 и применим к его движению теорему о движении центра масс. Так как движение равномерное, ускорения центра масс выделенного объема в трубчатом и цилиндрическом канале равно нулю.



Следовательно, сумма проекций всех внешних сил, приложенных к указанному объему, на любую ось (например, ось x - x) также равна нулю.

Такими внешними силами – являются силы давления в сечениях 1-1 и 2-2, нормальные к этим сечениям; силы гидродинамического давления на боковые поверхности рассматриваемого

Снижение количества образуемых оксидов азота обусловлено снижением концентрации кислорода в рабочей смеси, замедлением скорости сгорания топлива, увеличением его количества выгорающего на линии расширения и, как следствие, снижением максимальной температуры цикла.

С увеличением температуры рециркулируемых газов, снижается количество отработавших газов, поступивших в цилиндр. При этом повышается температура конца сжатия и, как следствие, возрастает максимальная температура сгорания. Поэтому с ростом температуры наблюдается некоторое увеличение выбросов оксидов азота.

Рост продолжительности выгорания топлива обуславливает увеличение его количества сгорающего вблизи нижней мертвой точки, что ведет к ухудшению топливной экономичности. При этом из-за ухудшения протекания рабочего процесса резко возрастают выбросы СН и СО.

Как показывает анализ применение рециркуляции отработавших газов наиболее эффективно на режимах частичных нагрузок и холостом ходу. При выборе системы рециркуляции следует учитывать следующие факторы:

- уровень токсичности ОГ который необходимо достичь.
- технико-экономические показатели двигателя
- значение перепада между давлением ОГ перед турбиной и давлением воздуха после компрессора, замеренное по всей характеристике работы двигателя (при выборе системы РОГ по контуру высокого давления).
- определенные значения необходимой степени рециркуляции ОГ на каждом режиме работы двигателя.
- рабочий процесс в двигателе должен быть согласован с работой системы РОГ.

Литература

1. Кухаренок, Г.М. Рабочий процесс высокооборотных дизелей / Г. М. Кухаренок. – Минск: БГПА, 1999. – 179 с.
2. Марков, В. А. Токсичность отработавших газов дизелей / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. – 2-е изд., перераб. и доп.– Москва: Изд-во МГТУ, 2002.

В результате обработки экспериментальных данных, полученных на Минском моторном заводе при испытании 4-х цилиндрового дизельного двигателя с турбонаддувом с системой рециркуляции отработавших газов по 8-ступенчатому циклу, построена регрессионная зависимость для определения выхода NO_x вида:

$$M_{\text{NO}_x} = a_0 + a_1 \cdot \alpha + a_2 \cdot \alpha \cdot \alpha + a_3 \cdot T_z + a_4 \cdot T_z \cdot T_z + a_5 \cdot P_z + a_6 \cdot P_z \cdot P_z + a_7 \cdot p_i + a_8 \cdot p_i \cdot p_i, \quad (1)$$

где: $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$ – коэффициенты регрессии;

α – коэффициент избытка воздуха;

T_z – максимальная температура сгорания;

P_z – максимальное давление цикла;

p_i – среднее индикаторное давление.

Данная зависимость позволила выполнить анализ влияния количества и температуры рециркулируемых газов на содержание окислов азота в отработавших газах (рисунок 2).

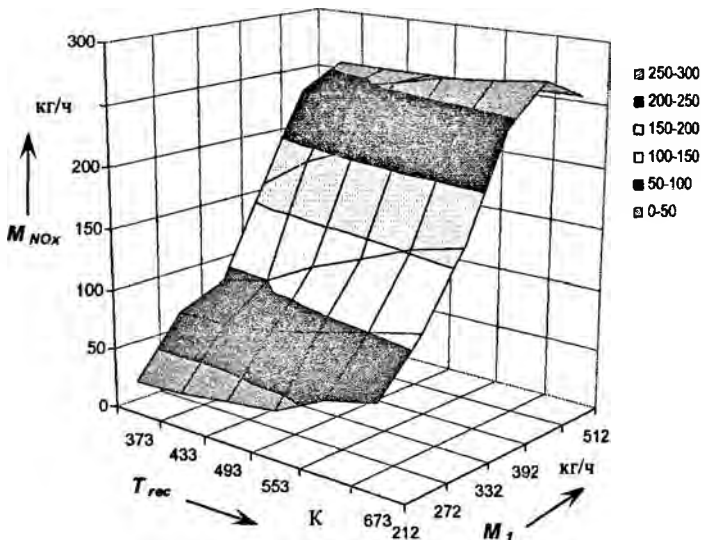


Рисунок 2 – Зависимость содержания окислов азота от количества свежего заряда M_1 и температуры рециркулируемых газов T_{rec}

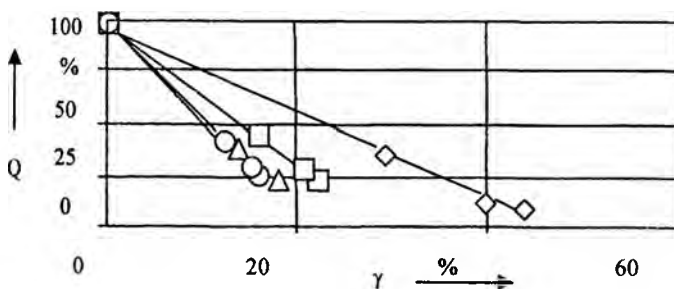
нием процесса сгорания и как следствие – снижением температуры продуктов сгорания.

Внешняя рециркуляция, как наиболее эффективная и распространенная на сегодняшний день, как правило, осуществляется двумя способами:

– перепуск отработавших газов через турбокомпрессор (линия низкого давления);

– перепуск отработавших газов во впускной коллектор с введением в систему дополнительных конструктивных элементов для обеспечения положительного перепада давлений перед турбиной и после компрессора (линия высокого давления).

На рисунке 1 показан эффект применения рециркуляции отработавших газов по линии высокого давления для дизеля с турбонаддувом и промежуточным охлаждением надувочного воздуха, имеющего литровую мощность 24 кВт.



◇ – нагрузка 20%, □ – нагрузка 50%, Δ – нагрузка 80%,
○ – нагрузка 100%

Рисунок 1 – Зависимости изменения степени эмиссии NO_x Q от степени рециркуляции γ , для различных нагрузочных режимов

Из зависимостей видно, что эффект снижения NO_x при той же степени рециркуляции увеличивается, когда нагрузка на двигатель возрастает.

Оценить влияния параметров рабочего процесса дизеля с системой рециркуляции отработавших газов на выход оксидов азота можно с помощью эмпирической зависимости.

3. EGR System in a Turbocharged and Intercooled Heavy-Duty Diesel Engine. Expansion of EGR Area with Venturi EGR System. Technical Review, 2003, № 15.
4. Taking the Diesel Engine into the Future. DAUS Tryck&Media AB Sundsvall, Sweden, May 2004.

УДК 621.436

**Влияние параметров системы рециркуляции
на показатели рабочего процесса и содержание NO_x
в отработавших газах дизелей**

Зеленков А. А., Петрученко А. Н.

Белорусский национальный технический университет

Чтобы уменьшить загрязнения окружающей среды вредными компонентами отработавших газов автомобильных двигателей внутреннего сгорания, допустимые предельные значения уровня эмиссии данных веществ в последние годы неуклонно уменьшаются. Для этого транспортные средства имеют дополнительные системы, ограничивающие уровень эмиссии отработавших газов.

Ни один двигатель внутреннего сгорания не обеспечивает полного сгорания топливовоздушной смеси даже при избытке кислорода. Чем хуже протекает процесс сгорания рабочей смеси, тем выше уровень эмиссии вредных веществ.

При сгорании топливовоздушной смеси выделяются многочисленные продукты неполного сгорания и побочных реакций, протекающих при сгорании топлива, основными из которых являются: монооксид углерода (CO); углеводороды (CH), оксиды азота (NO_x) и твердые частицы.

Из-за высокой опасности для окружающей среды основным токсичным компонентом отработавших газов двигателей принято считать оксиды азота. Наиболее высокий выход оксидов азота в дизелях поскольку сгорание топливовоздушной смеси у них происходит при избытке воздуха и как следствие с незначительным образованием монооксида углерода и углеводородов.

Эффект уменьшения интенсивности образования NO_x при использовании рециркуляции отработавших газов объясняется уменьшением содержания кислорода в рабочей смеси, замедле-

– применение рециркуляции отработавших газов.

Смысл рециркуляции отработавших газов заключается в пепуске их части во впускную систему. Добавление отработавших газов в воздушный заряд приводит к уменьшению содержания в нем кислорода. Вследствие этого снижается температура продуктов сгорания за фронтом пламени, что приводит к уменьшению интенсивности образования NO_x . Кроме того, входящие в состав рециркулируемых газов CO_2 и H_2O имеют большую по сравнению с воздухом теплоемкость. В результате этого снижаются локальные и средние температуры рабочего цикла.

Наилучшую эффективность снижения выбросов оксидов азота имеет окислительный нейтрализатор. Принцип работы заключается в применении специального селективного катализатора SCR с дозированным впрыском мочевины (дозирование мочевины осуществляется электромагнитной форсункой). В ходе процесса происходит реакция восстановления NO и NO_2 мочевиной NH_3 с образованием азота и водяного пара:



Комплексную очистку отработавших газов от токсичных компонентов обеспечивают комбинированные системы очистки, которые дают возможность фильтрации твердых частиц и максимально эффективного снижения уровня эмиссии NO_x . Примером могут служить следующие совокупности компонентов и систем:

– на первом этапе системой рециркуляции отработавших газов снижается уровень эмиссии NO_x , на втором этапе фильтром твердых частиц достигается снижение содержания твердых частиц в отработавших газах;

– на первом этапе происходит непрерывное окисление сажи фильтром с каталитическим покрытием, на втором этапе достигается снижение уровня эмиссии NO_x системой селективного каталитического восстановления SCR.

Литература

1. Марков, В. А. Токсичность отработавших газов дизелей / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд-во МГТУ, 2002.
2. Звонов, В. А. Образование загрязнений в процессах сгорания / В. А. Звонов. – Луганск: Изд-во Восточноукраинского государственного университета, 1998. – 126 с.

торы. Термический нейтрализатор применяется в двигателях с принудительным воспламенением и представляет собой камеру сгорания, размещенную в выпускной системе двигателя. Реакции окисления CO и CH протекают достаточно быстро при температуре свыше 830°C и при наличии в зоне реакции несвязанного кислорода. Термические нейтрализаторы недостаточно эффективны на режимах холостого хода и малых нагрузок, вследствие низкой температуры отработавших газов. Применение в окислительных нейтрализаторах катализатора в виде благородных металлов (платины, палладия, родия) обеспечивает достаточно высокую скорость окисления CO и CH при сравнительно невысоких температурах ($300 - 400^{\circ}\text{C}$) и выгорание сажи при 580°C .

В случае жидкостного катализатора отработавшие газы проходят через слой жидкости, в которой в зависимости от её состава связываются или растворяются токсичные компоненты (главным образом альдегиды, частично оксиды азота и сажа). Процесс осуществляется при сравнительно низкой температуре ($40-80^{\circ}\text{C}$).

Основным токсичным компонентом отработавших газов дизелей принято считать оксиды азота. Примерно 95% оксидов азота в дизельном двигателе состоят из монооксида азота – NO, который образуется по термическому механизму в результате окисления атмосферного азота в зоне продуктов сгорания при высокой температуре, содержащимся там свободным кислородом.

Для снижения температуры сгорания и как следствие уменьшения выбросов оксидов азота применяется ряд мероприятий:

- уменьшение угла опережения впрыска топлива и применения многоступенчатого впрыска;

- использование водно-топливной эмульсии. Эмульсия образуется вследствие тщательного перемешивания топлива с водой в различных пропорциях до получения гомогенной смеси. Впрыск эмульсии в цилиндр позволяет снизить максимальную температуру сгорания. На дизелях снижения максимальной температуры сгорания также можно достичь путем впрыска воды в конце процесса сгорания;

- понижения степени сжатия;

Литература

1. Микулин, Ю.В. Пуск холодных двигателей при низкой температуре / Ю. В. Микулин, В. В. Карницкий, Б. А. Энглин. – М.: «Машиностроение», 1971. – С 62-73
2. Найман, В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В. С. Найман. – Москва: Астрель, 2007. – 160 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: учеб. пособие для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров и [др.]; под общ. ред // издание второе, переработанное. – М.: «Высшая школа», 2005. – С. 382 – 385.

УДК 621.436

Методы снижения эмиссии вредных веществ в отработавших газах дизельных двигателей

Кухаренок Г. М., Зеленков А. А.

Белорусский национальный технический университет

Неуклонное увеличение потребления топлива на транспорте приводит к росту объема поступающих в атмосферу вредных веществ. Транспорт представляет собой источник значительных выбросов в атмосферу твердых частиц, оксидов азота NO_x , оксидов углерода CO и CO_2 .

Снижения уровня выбросов токсических веществ с отработавшими газами двигателей можно достичь: воздействием на рабочий процесс (уменьшение образования этих веществ в процессе сгорания), оборудованием двигателя системами нейтрализации выпускных газов, применением топлив, продукты сгорания которых содержат меньше токсичных компонентов.

Для очистки ОГ от твердых частиц применяется фильтр твердых частиц – сажевый фильтр. Регенерация сажевого фильтра осуществляется при повышении температуры отработавших газов (до $600 \dots 650^\circ\text{C}$) за счет периодического впрыскивания топлива в зону реакции. При наличии системы регенерации фильтр твердых частиц присоединяется к окислительному нейтрализатору, который окисляет содержащийся в отработавших газах оксид азота NO в диоксид азота NO_2 .

Для дожигания продуктов неполного сгорания топлива – CH и CO – применяют термические и каталитические нейтрализа-

ловиях, так как не требуется специально оборудованных стоянок.

Недостаток существующих индивидуальных подогревателей предпускового разогрева дизелей в условиях низких температур окружающей среды – чрезвычайно слабо прогревают подшипники коленчатого вала, на долю которых при температуре ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ приходится основная часть сопротивления вращению коленчатого вала при пуске. Для интенсификации разогрева подшипников коленчатого вала целесообразно использовать специальный насос для прокачки масла через подшипники. Опыты, проведенные на дизеле Д-160 с предварительной прокачкой масла, показали, что при температуре $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ прокачка масла в течение 1200 с (без разогрева) повышает температуру масла в поддоне до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в коренных подшипниках до 4°C . Масло из поддона гидронасосом продавливается через дроссель (отверстие диаметра 1 мм.) и затем поступает в основную масляную магистраль дизеля.

С технической точки зрения предпусковой подогрев обеспечивает: легкий и надежный пуск холодного двигателя с 1-2 попыток и сокращение времени прокрутки стартера в несколько раз; сокращение времени прогрева двигателя до 40°C более чем в 4 раза; снижение пускового тока стартера почти до летнего значения; повышение частоты вращения коленвала; снижение расхода топлива на пуск от 1 л/10 км до 0,3 л/10 км; снижение вредных выбросов автомобиля.

Необходимо отметить, что наибольший эффект получается при использовании рассмотренных предпусковых средств в комплексе. Опыт эксплуатации показывает, что, несмотря на тепловую предпусковую подготовку двигателя машин, находящиеся длительное время в условиях низких температур, заводятся с большим трудом даже при -20°C не говоря уже и о более низких температурах.

Таким образом проблема запуска дизельного двигателя при температурах до -40°C , несмотря на многочисленные разработки, остаётся и должна быть направлена на поиски решения различных способов прогрева масла в картере двигателя с сохранением мощности АКБ.

путями: применением пусковых топлив, имеющих низкую температуру самовоспламенения; каталитическим воспламенением топлива; увеличением степени сжатия; принудительным воспламенением топлива; оптимизацией регулировочных параметров двигателя; подогревом впускного воздуха[2].

Для подогрева воздуха, поступающего в двигатель, в дизелях широко используется такое устройство как термостарт, включающий в себя факельную свечу, электромагнитный топливный клапан, добавочный резистор с термореле и переключатель. Топливо проходит по кольцевой полости между нагревательным элементом и трубкой, испаряется и после смешивания с движущимся во впускной трубе воздухом воспламеняется. Образующий факел пламени обеспечивает нагрев воздуха, поступающего в цилиндры.

Увеличение требуемого для запуска крутящего момента при отрицательных температурах можно существенно уменьшить и применяя синтетические и полусинтетические масла. Например, применять масла с низкой вязкостью M-5 /10 или M-5 /12 и аналогичного, с маркировкой SAE 10W-30[3].

В особо жестких условиях эксплуатации дизелей, при температуре ниже -35°C , даже низкотемпературные свойства стандартных загущенных масел могут оказаться недостаточными. В этом случае целесообразно применять кратковременный подогрев дизеля предпусковым подогревателем [4].

Подогреватели используются для предпускового подогрева силовых установок, длительного их обогрева при неработающем двигателе и для ускорения прогрева двигателя после его запуска.

Время, необходимое на предварительный разогрев дизеля, в зависимости от температуры окружающей среды, размеров двигателя и мощности подогревателя колеблется в пределах 1800 ... 9000 с.

Конструкции котлов-подогревателей, в основном, подобны. Они содержат камеру сгорания, теплообменник, насосный агрегат, электромагнитный топливный клапан (топливный кран), пульт управления.

Принципиальным достоинством систем обогрева с котлами является их автономность, что важно в эксплуатационных ус-

Двигателестроение

УДК 621.431.

Средства обеспечения пуска дизелей при отрицательных температурах

Стефанович В. Р.

Белорусский национальный технический университет

Низкие температуры окружающей среды приводят к повышению вязкости масла, снижению температуры рабочей смеси в конце такта сжатия, что ухудшает пусковые свойства двигателя и увеличивает время подготовки его и систем силовой установки к работе под нагрузкой.

К главным причинам затруднений зимнего запуска относятся: рост крутящего момента сопротивления вращению коленчатого вала двигателя; уменьшение мощности стартера из-за снижения емкости аккумуляторной батареи; меньшая испаряемость топлива и ухудшение смесеобразования; увеличение требуемой пусковой частоты вращения коленчатого вала.

Действие всех этих причин при отрицательной наружной температуре проявляется одновременно, усугубляя и затрудняя весь процесс запуска [1, 4].

В решении задач обеспечения холодного пуска дизелей в условиях отрицательных температур прослеживаются два основных направления. Первое из них связано с обеспечением условий надежного самовоспламенения и сгорания топлива в цилиндрах дизеля, а второе – с повышением скорости вращения коленчатого вала в период прокрутки. Соответственно имеющиеся средства облегчения запуска двигателя при отрицательных температурах разделяются на две группы.

К первой группе относятся: подогрев поступающего воздуха; прогрев камеры сгорания свечами накаливания; повышение степени сжатия при запуске; применение легкоиспаряющихся и легковоспламеняющихся пусковых топлив.

К устройствам второй группы относятся: декомпрессоры; подогреватели воды и масла.

Обеспечение необходимых условий самовоспламенения и сгорания топлива в цилиндрах дизеля достигается следующими

$$T_{1y} = f_1(G_{m0} - G_c - T' - 2T'') \cos \alpha, \text{ Н}, \quad (15)$$

$$\text{Сила трения} \quad T' = f_1 p F', \text{ Н}, \quad (16)$$

где p - среднее давление торфа на боковую стенку, Па;

$F' = (H - h_c)b$ - среднее значение площади поверхности задней стенки над увлекаемым слоем, м^2 .

Считая, что давление торфа на стенку распределяется по закону треугольника, имеем

$$P = \rho g (H - h_c) / 2, \text{ Па}. \quad (17)$$

$$\text{Тогда} \quad T' = f_1 \rho g (H - h_c)^2 b / 2, \text{ Н}, \quad (18)$$

$$\text{Сила трения} \quad T'' = f_3 p F'', \text{ Н}, \quad (19)$$

где $F'' = (H - h_c)l$ - площадь соприкосновения опускающегося и зависающего торфа у боковых стенок бункера, м^2 .

$$\text{Тогда} \quad T'' = f_3 \rho g (H - h_c)^2 l / 2, \text{ Н}, \quad (20)$$

$$T_{2y} = f_1(G - T' - 2T'') \cos \alpha, \text{ Н}, \quad (21)$$

Мощность при установившемся движении конвейера

$$N_y = \frac{T_{2y} v_n}{1000 \eta_4 \eta_5}, \text{ кВт}. \quad (22)$$

Таким образом, предложенная методика позволяет определить потребляемую мощность рабочими органами колесной машины с передним расположением скрепера, как в режиме уборки фрезерного торфа, так и при выгрузке его в навалы, что дает возможность на стадии проектирования проводить оптимизацию основных параметров конструкции.

Литература

1. Справочник по торфу / Под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. – М.: Недра, 1982. – С. 287–290).
2. Опейко, Ф.А. Торфяные машины. / Ф. А. Опейко. – Минск, Выш. школа, 1968. – С. 333–338.
3. Кислов, Н. В. Машины фрезерного способа добычи торфа / Н. В. Кислов, В. В. Шавель. – Минск: Ротапринт БПИ, 1984. – С. 23-31.
4. Машина для уборки фрезерного торфа: Заявка на изобретение (МПК E21C 49/00) / Г.А. Басалай; № а20070161 от 16.02.2007.

- работа подвижного дна при трогании рабочей ветви скребкового конвейера с места и установившаяся работа.

В первый период выгрузка обеспечивается свободным истечением основного объема груза под действием гравитационных сил благодаря геометрическим параметрам нижней части бункера в виде опрокинутой усеченной пирамиды. С учетом этого нагрузка на подвижное дно 10 определяется остаточным весом G_{m0} торфа в бункере и его положением относительно люка 9.

При работе скребкового конвейера преодолевается сопротивление между движущимся и неподвижным торфом и днищем бункера.

Сопротивление движению тяговых цепей конвейера при трогании с места $T_{mp} = T_1 + T_2 + G_c \sin \alpha$, (9)

где T_1 - сопротивление между движущимся слоем и неподвижным торфом;

T_2 - сила трения между торфом и нижним листом;

G_c - вес слоя, увлекаемого скребками;

α - угол поперечного крена машины во время выгрузки;

Составляющая $T_1 = f_1(G_{m0} - G_c) \cos \alpha$, Н. (10)

Минимальный вес выгружаемого слоя

$$G_{cmin} = \rho g h_c l b \cos \alpha, \text{ Н.} \quad (11)$$

где h_c - высота скребка, м;

l, b - длина и ширина бункера понизу или параметры выгрузного конвейера, м.

Составляющая $T_2 = f_1 G_{m0} \cos \alpha$, Н. (12)

Затраты мощности при трогании с места

$$N_{mp} = \frac{T_{mp} v_n}{1000 \eta_4 \eta_5}, \text{ кВт,} \quad (13)$$

где η_4, η_5 - КПД выгрузного конвейера и его привода.

При установившемся движении сопротивление перемещению тяговых цепей

$$T_{y0} = T_{1y} + T_{2y} + G_c \sin \alpha, \quad (14)$$

где T_{1y} - сопротивление между неподвижным и движущимся слоями торфа;

T_{2y} - сила трения между торфом и днищем бункера.

$$P_{скр} = p_0 S + c \rho g V, \text{ Н}, \quad (4)$$

где p_0 - удельное сопротивление при экскавации скрепером торфа из валка, Па ($p_0=2000-2500$);

c - коэффициент сопротивления, который зависит от коэффициентов трения торфа о торф и поверхность скребков, а также от отношения продольного размера тела волочения к ширине конвейера, $c=5-7$;

ρ - плотность торфа в скрепере, кг/м^3 ;

V - объем торфа в скрепере, м^3 .

Мощность на работу погрузочного скребкового конвейера

$$N_4 = \frac{\rho g Q_X H_{зл}}{1000 \eta_2 \eta_3}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

где Q_X - производительность по ходу машины, $\text{м}^3/\text{с}$;

$H_{зл}=f(V_{Т.Б})$ - высота подъема торфа конвейером, является функцией от объема $V_{Т.Б}$ торфа в бункере по мере движения агрегата по карте, м; предельные значения высоты разгрузки определяются конструкцией движителя и бункера.

η_2, η_3 - КПД погрузочного конвейера и его привода.

При выборе параметров конвейера необходимо соблюдать соотношение $Q_{ск} \geq Q_X$, где $Q_{ск}$ - производительность конвейера.

Здесь

$$Q_X = S w_0 (1 - \varepsilon); \quad (6)$$

$$Q_{зл} = \varphi b h t v, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7)$$

где ε - буксование ведущих колес трактора;

φ - заполнение пространства между скребками ($\varphi \approx 0.6$);

b, h, t - ширина, высота и шаг скребков, м;

v - скорость цепи конвейера, м/с.

Во время выгрузки торфа из бункера при условии подъема в транспортное положение скрепера и отключении скребкового конвейера потребляемая мощность

$$N_{ус} = N_1 + N_2 + N_3, \quad (8)$$

где N_3 - мощность для работы подвижного дна бункера.

При расчете мощности во время выгрузки торфа (см. рис. 1,б) выделяют три периода: первый - до включения подвижного дна после открытия бокового выгрузного люка, второй и третий

колес задней оси 2. Поперечный габарит конвейера 10 у выгрузного люка 9 находится на уровне колеи передней оси 1.

Фрезерный торф, сгребаемый из валков скрепером 5, непрерывно вычерпывается из него и транспортируется по желобу 7 скребковым конвейером 6 с последующим ссыпанием в бункер 8. Доставленный к месту складирования торф из бункера 8 выгружается через люк 9 конвейером 10 на откос штабеля или в навал у его подножья.

Целью работы является разработка методики оценки нагрузочных режимов колесной машины с передним расположением скрепера для оптимизации основных параметров конструкции на стадии проектирования.

При рабочем проходе машинно-тракторного агрегата (см. рис 1,а) мощность двигателя реализуется

$$N_{yn} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4, \quad (1)$$

где N_1 - мощность на передвижение колесного трактора;

N_2 - мощность на передвижение колесной машины в режиме постоянно увеличивающейся массы груза в бункере;

N_3 - мощность на передвижение скрепера;

N_4 - мощность на работу погрузочного конвейера.

Мощность на передвижение груженой машины

$$N_2 = \frac{\mu(G_n + G_m)w_0}{1000\eta_1}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где μ - коэффициент сопротивления передвижению колесного движителя;

G_n - вес порожней машины, H ;

$G_m = f(S, L)$ - вес торфа в бункере, H ;

S - площадь поперечного сечения вала, m^2 ;

L - длина рабочего прохода уборочного агрегата по карте, m ;

w_0 - кинематическая скорость трактора, m/c ;

η_1 - КПД трансмиссии колесного трактора.

Мощность на передвижение скрепера

$$N_3 = \frac{P_{скр} w_0}{1000\eta_1}, \text{ кВт}, \quad (3)$$

Сопротивление перемещению скрепера

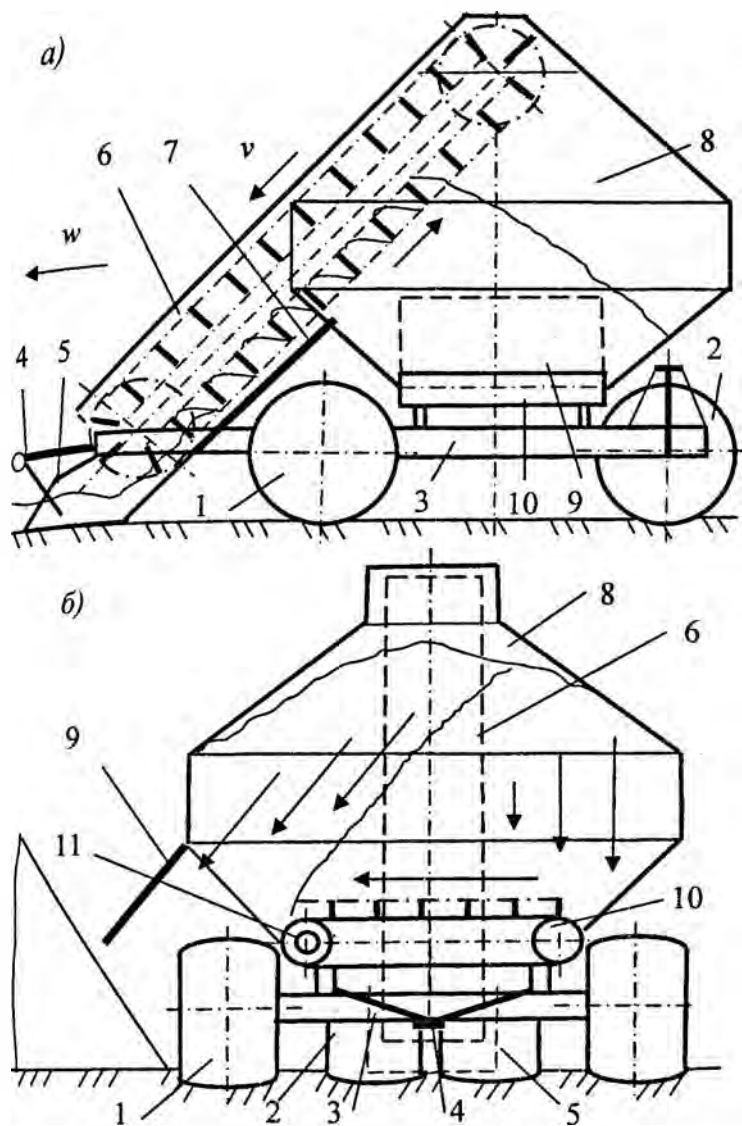


Рис. 1. Колесная машина для уборки фрезерного торфа с передним расположением скрепера и грузозачного конвейера

УДК 629.114.2

**Оценка нагрузочных режимов колесной машины
для уборки фрезерного торфа**

Басалай Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Уборка фрезерного торфа из валков и доставка к месту складирования осуществляется машинами типа УМПФ [1]. Рабочий орган этих машин представляет сочетание скрепера и ковшового элеватора. Методика определения затрат мощности при рабочем проходе агрегата и во время выгрузки торфа из бункера вдоль штабеля изложена в литературе [2, 3].

Недостатком конструктивной схемы данных машин является то, что элеватор, вычерпывающий ковшами торф из скрепера, транспортирует его на максимальную высоту и выгружает в бункер сверху, а длинный выгрузной конвейер, из-за широкой колеи гусеничного движителя, создает значительные перегрузки в трансмиссии при трогании с места под действием вертикальной нагрузки от массы материала в бункере, а также требует подводить большой крутящий момент при выгрузке торфа.

Задача, решаемая изобретением [4], состоит в уменьшении металлоемкости машины для уборки фрезерного торфа, а также снижении энергозатрат на выполнение технологической операции. Это достигается тем, что в машине, схема которой представлена на рисунке 1 и включающей переднюю 1 и заднюю 2 оси колесного движителя, раму 3 с прицепным устройством 4, скрепер 5 с загрузочным конвейером 6 и желобом 7, бункер 8 с выгрузным люком 9, выгрузной конвейер 10, расположенный поперечно в днище бункера, и привод 11 рабочих органов, скрепер 5 и загрузочный конвейер 6 установлены спереди между бункером 8 и прицепным устройством 4. Загрузочный конвейер 6 выполнен в виде наклонного скребкового конвейера с нижней рабочей ветвью, днище желоба 7 которого расположено между скрепером и передней стенкой бункера. Нижняя часть бункера выполнена в виде четырехгранной усеченной опрокинутой пирамиды. Колея колес передней оси 1 в 2-3 раза больше колеи

силового винта относительно той же точки независимо от пространственного положения последней. Следовательно, просуммировав моторы сил, действующих на выделенный элементарный объем материала, получим мотор силового винта, приведенный к началу координат через его проекции на оси координат:

$$\left\{ \begin{aligned} dM_z &= dF_1 \sin\gamma - dF_2 \sin\gamma - 2dF_3 \sin\gamma + dF_{5,4} \sin\gamma + dF_{7,6} \sin\gamma + dF_8 \sin\gamma + a[dF_{2,r} \cos\gamma - dF_1 R \cos\gamma + \\ &+ dF_3(R+r) \cos\gamma + \frac{dF_{5,4}(R+r) \cos\gamma}{2} - dF_{7,6}(R-a/2) + dF_8(R-a) \cos\gamma]; \\ dM_y &= dF_2 \cos\gamma - dF_1 \cos\gamma + 2dF_3 \cos\gamma + dF_{5,4} \cos\gamma - dF_{7,6} \cos\gamma - dF_8 \cos\gamma - \\ &- a[dF_{2,r} \sin\gamma - dF_1 R \sin\gamma + dF_3(R+r) \sin\gamma + \frac{dF_{5,4}(R+r) \sin\gamma}{2} - dF_{7,6}(R-a/2) \sin\gamma - dF_8(R-a) \sin\gamma], \end{aligned} \right.$$

где dF_i – силы, действующие на выделенный объем материала; dM_z , dM_y – проекции мотора силового винта на оси координат; ω – множитель Клиффорда, обладающий свойством $\omega^2 = 0$; R , r , γ , a – геометрические размеры шнекового пресса.

Приведенная система уравнений представляет собой зависимость значения и положения в пространстве силового винта, действующего на выделенный элементарный объем материала, от геометрических размеров шнека и рифовых выступов, возникающих при движении материала сил, а также от свойств последнего. В систему входит также угол $d\beta$ поворота элементарного объема при перемещении его в винтовом канале. Этот угол можно представить в виде двух составляющих: угла $d\beta_1$ образуемого при вращении объема вокруг оси шнека и $d\beta^0$ – при поступательном движении вдоль оси. Иными словами угол $d\beta$ представляет собой кинематический винт движения материала в винтовом канале шнека и его можно записать в виде комплексного вектора, что позволит преобразовать полученную систему уравнений в винтовой форме к виду дифференциального уравнения.

Таким образом, выполнив необходимые преобразования и решая полученное дифференциальное уравнение с помощью приближенных методов, можно определить зависимость развиваемого нормального давления от геометрических параметров шнекового пресса или решать задачи оптимизации.

Оценка параметров перерабатывающего органа формирующего агрегата

Ромашко Ю. В.

Белорусский национальный технический университет

Шнековые пресса благодаря ряду преимуществ нашли широкое применение в качестве прессующих механизмов во многих технологических процессах, когда требуется непрерывная подача пластичных материалов под давлением. В том числе они используются в качестве перерабатывающе-нагнетающего органа в фрезформовочных агрегатах для добычи кускового торфа. Для повышения эффективности и предотвращения вращения материала со шнеком используют различные конструктивные элементы, к которым можно отнести рифленую внутреннюю поверхность корпуса пресса, неподвижно закрепленные контрожи, различного рода очищающие скребки и т.д. Однако влияние геометрических параметров данных конструктивных элементов устанавливается только экспериментальным путем, поэтому представляет научный и практический интерес определение теоретических зависимостей.

Для оценки геометрических параметров рифовых выступов шнекового пресса была рассмотрена следующая расчетная схема. Из объема витка шнека выделен элементарный объем, ограниченный рабочей и пассивной поверхностями витка, двумя положениями плоскости, перпендикулярной рабочей грани витка (второе положение определяется ее поворотом вокруг оси шнека относительно первого на угол $d\beta$), внутренней поверхностью кожуха шнека и вала шнека.

Исследования проводились с применением математического аппарата винтового исчисления, согласно которому выделенный объем материала находится под действием некоторого силового винта. Для решения поставленной задачи определены силы и силовой винт через его мотор в точке O начала координат. Мотор винта получен в проекциях на оси координат путем приведения к началу координат системы сил, действующих на выделенный элементарный объем материала. Из винтового исчисления известно, что сумма моторов сил относительно произвольной точки приведения однозначно определяет мотор данного

со шкивом; M_{ω} – момент сопротивления вращению ротора двигателя; M_p – момент сопротивления резанию, приложенный к режущему ротору;

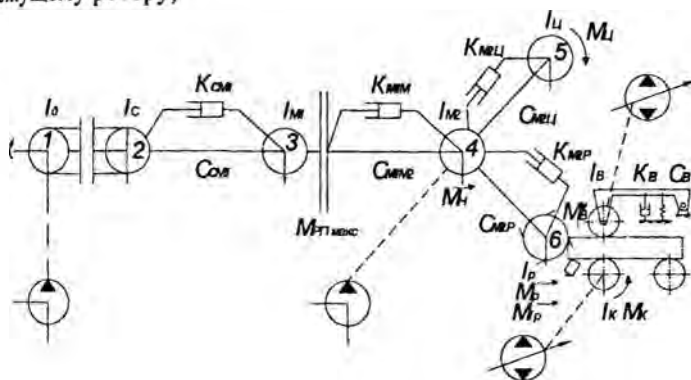


Рисунок 1 – Расчетная динамическая система рубильной машины

M_B, M_K – крутящий момент, развиваемый соответственно, вальцом и приемным конвейером; m_6 – масса измельчаемой древесины; C_{ij} – приведенные к валу двигателя жесткости частей привода между соответствующими сосредоточенными массами динамической системы; K_{ij} – приведенные к валу двигателя коэффициенты неупругого сопротивления относительно поворота масс динамической системы при колебаниях; K_B, C_B – коэффициент неупругого сопротивления и жесткость подвески прижимного подающего вальца.

Схема динамического взаимодействия с измельчаемой древесиной трех контуров привода: режущего и подающего рабочих органов учитывает горизонтальную реакцию со стороны барабана на пачку материала, продольную и поперечную жесткости последнего, кинематическую координату его переменной толщины, расстояние от оси качания рычага с прижимным вальцом до оси его вращения и до мест крепления амортизатора и прижимной пружины растяжения.

- установление места приложения внешних воздействий на элементы динамической системы рубильной машины, математическое описание внешних воздействий на систему;
- описание движения динамической системы дифференциальными уравнениями, которые позволяют: рассчитать динамические нагрузки в приводах и параметры колебаний, выявить при исследовании на ПЭВМ резонансные области при колебательных процессах, определить наиболее нагруженные звенья в динамической системе.

Динамическая система рубильной машины с барабанным режущим органом (см. рис. 1) включает несколько силовых контуров: привод режущего барабана; привод подающего вальца; привод пластинчатого конвейера; привод метателя; привод манипулятора; привод аутригеров; привод тормозов.

Значительные максимальные динамические нагрузки характерны только для первых трех контуров, взаимодействующих с исходным древесным материалом. При проектом выборе параметров двигателя, элементов этих приводов необходимо учитывать уровень их динамической нагруженности.

Рабочий процесс рубильной машины состоит из повторяющихся неустановившихся процессов набора пачки древесной нерубленой массы гидроманипулятором, загрузки ее в приемный патрон или приемный порт машины с участием подающих рабочих органов, измельчения ножевым режущим барабаном, загрузки просеянной щепы метателем в кузов прицепа или бункер-накопитель.

На схеме динамической системы рубильной машины обозначено (см. рис. 1): $\dot{I}\ddot{\alpha}(w, h)$ – момент двигателя, зависящий от угловой скорости и положения рейки топливного насоса; $I_d, I_c, I_{m1}, I_{m2}, I_{\zeta}, I_p, I_k, I_v$ – моменты инерции, приведенные к валу двигателя, соответственно: двигателя с ведущими частями муфты сцепления, ведомой части муфты сцепления, ведущего шкива клиноременной передачи; ротора метателя, режущего ротора, приемного конвейера, прижимного вальца; M_{H1} – крутящий момент сопротивления, создаваемый насосом привода гидроманипулятора; $M_c(t)$ – момент трения в муфте сцепления; M_{pn} – момент трения в контакте клиновых ремней

Горные машины

УДК 634.0.31

К методике расчетно-теоретического исследования рубильной машины

Таяновский Г. А., Хамицевич М. В.

Белорусский национальный технический университет

Задача максимального использования внутренних ресурсов для ослабления зависимости от внешних закупок энергоносителей решается по многим направлениям, в частности, путем использования на топливо больших объемов древесных лесосечных и промышленных отходов.

Древесные отходы представляют собой сучья, лапы, тонкомер, верхушки деревьев после раскряжевки и обрубки сучьев, а также обрезки после распиловки сортиментов на доску или брус. Отходы неоднородны по размерам, использование их на топливо без измельчения затруднительно. Для этого за рубежом широко используют рубильные машины.

Создание отечественных импортзамещающих рубильных машин потребовало исследования и выбора общих технических компоновочных решений и их рациональных параметров, обеспечивающих конкурентоспособность машин. Прочностные расчеты элементов приводов рубильных машин должны вестись с учетом уровня их динамической нагруженности.

Авторами разработана методика исследования на ЭВМ динамической модели рубильной машины, которая позволяет определить выходные показатели машины, динамические нагрузки на элементы привода, параметры собственных и вынужденных колебаний в зависимости от ее конструктивных и режимных параметров. На основе результатов исследования производится выбор их рациональных значений.

Разработка методики расчетно-теоретического исследования нагруженности приводов рубильной машины включала следующие этапы:

- составление расчетной динамической схемы приводов и рабочего органа рубильной машины с сосредоточенными массами;

Анализируя сочетания $k_1\overline{k_2k_3}$ и $\overline{k_1k_2}k_3$, соответствующие исправному ГР, можно предположить о неисправности датчиков положения. Комбинация $k_1\overline{k_2k_3}$ также соответствует D_1 , что возможно, например, при неработающем насосе. Воспользовавшись дополнительно угловой скоростью ω ротора насоса (включен-выключен), можно разделить ТС D_1 и возможную разгерметизацию контура (ТС насоса оценивается отдельно).

По результатам анализа расчетов составлена таблица функций неисправностей (таблица 3). Такая таблица удобна для представления алгоритма в словесной форме, например, в инструкции по эксплуатации, когда последовательно анализируются все представленные в ней сочетания признаков.

Таблица 3 - Таблица функций неисправностей распределителя

$X_{сг}$	$X_{вых}$	$X_{пр}$	$\omega > \omega_0$	Диагноз	
0	1	1	-	D_{p1}	Утечки в распределителе (нарушение сопряжений)
0	1	0	-	D_{p2}	Излом или ослабление возвратных пружин
0	0	1	-	D_{p3}	Неисправен или разрегулирован датчик положения
1	1	0	-	D_{p3}	Неисправен или разрегулирован датчик положения
1	0	0	-	D_{p5}	Заклинил золотник (отказ эл/магнита, засорен дренаж)
1	0	1	1	D_{p4}	Негерметичность контура (или исправен насос)

*Примечание - С учетом характеристик переходного процесса

Для автоматического ПН разработан условный алгоритм. Количество и последовательность проверок определяются результатом выполнения предшествующего условия. В автоматическом режиме переходные процессы в ГП могут стать причиной ошибочных диагнозов. Например, после регистрации сигнала на включение ГР при высокой частоте квантования «мгновенно» фиксируется отсутствие сигнала с датчика нового положения золотника, давления на выходе не успевает нарасти, «статический» алгоритм делает ложный вывод о неисправности. Это обуславливает необходимость ввода в алгоритм выдержки времени на завершение переходного процесса перед выдачей аварийного сообщения. Время выдержки можно оценить экспериментально или по результатам динамического расчета ГП.

1. Сырицын, Т. А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов / Т. А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
2. Биргер, И.А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

Таблица 1 – Диагностическая матрица

Номер	Диагноз D_i Наименование	Вероятность признаков k_j			Вероятность диагноза $P(D_i)$
		$k_1 (X_{от})$ Сигнал управления	$k_2 (X_{выс})$ Выходной сигнал (характеристика потока жидкости)	$k_3 (X_{дп})$ Датчик положения	
		$P(k_1/D_i)$	$P(k_2/D_i)$	$P(k_3/D_i)$	
D_1	Исправен	0,5	0,5	0,5	0,25
D_2	Заклинил (отказ электромагнита)	1	0	0	0,25
D_3	Утечки через распределитель	0	1	0	0,25
D_4	Поломка возвратных пружин	0	1	1	0,25

Результаты расчетов представлены в таблице 2. Для исходной диагностической матрицы при $P_{д}=0,8...0,9$, можно распознать лишь диагнозы D_1 и D_2 , а также и сделать предположение об одном из диагнозов D_3 или D_4 (совместная вероятность 0,9). Для увеличения глубины поиска в систему признаков вводится сигнал с датчика конечного положения золотника ГР. Расчет по дополненной матрице показывает (см. таблицу 2), что введенный признак позволяет разделить все диагнозы. Так как включенная позиции ГР распознается двумя способами: с помощью датчика и по давлению на выходе, базовый алгоритм становится более гибким, его можно корректировать с учетом конструктивных особенностей и контролепригодности конкретного типа ГР.

Таблица 2 - Решение о диагнозе

Реализация комплекса признаков K^* (1 – есть; 0 – нет)			Вероятность диагноза при данной реализации комплекса признаков $P(D_i/K^*)$			
k_1	k_2	k_3	D_1	D_2	D_3	D_4
Расчет по исходной диагностической матрице						
0	0		1	0	0	0
0	1		0,1	0	0,45	0,45
1	0		0,2	0,8	0	0
1	1		1	0	0	0
Расчет по дополненной диагностической матрице						
0	0	0	1	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0,1	0	0	0,9
1	0	0	0,1	0,9	0	0
0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0,1	0	0,9	0
1	1	1	1	0	0	0

ном этапе воспользуемся формулой Байеса, а для их совершенствования - логическими методами анализа структуры объекта диагностирования. Если ГР находится в одном из N случайных ТС D_i , и известны признаки k_j , каждый из которых с определенной вероятностью характеризует ТС ГР, то вероятность того, что выбранная реализация K^* признаков k_j соответствует одному из диагнозов D_i , определяется по формуле Байеса:

$$P(D_i / K^*) = P(D_i) P(K^* / D_i) / \sum_{i=1}^N P(D_i) P(K^* / D_i),$$

где $P(D_i / K^*)$ - вероятность D_i , после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков K ; $P(D_i)$ - априорная вероятность D_i ; $P(K^* / D_i)$ - вероятность появления реализации K^* у объектов с D_i . Решение о диагнозе D_i принимается, если $P(D_i / K^*) > P_d$, где P_d - пороговое значение (0,8...0,9).

Основная функция ГР – отслеживать команды и в соответствии с ними направлять поток рабочей жидкости (РЖ), поэтому на предварительном этапе в качестве диагностических параметров выбраны сигнал управления (на электромагнитах, давление в торцовой полости золотника, положение рукоятки) и параметры потока РЖ (расход или давление) в выходных гидролиниях. Выбор в пользу расхода ограничен техническими возможностями измерения больших расходов РЖ. Кроме того, при завершении операции, когда поршень гидроцилиндра упирается в ограничитель, расход становится равным нулю при включенном ГР, что вносит дополнительные трудности в распознавание ТС в автоматическом режиме. Поэтому предпочтение отдано давлению, а диагностическим признаком может быть превышение некоторого его порогового значения, соответствующего, например, выполнению операции без нагрузки.

Перечень распознаваемых диагнозов, диагностические параметры и их вероятности заносятся в диагностическую матрицу (таблица 1, в исходную матрицу признак k_3 не входит). Так как распознавание производится в условиях отсутствия статистической информации, будем считать диагнозы равновероятными. Если вероятность проявления признака при установлении диагноза не является однозначной (0 или 1), примем ее равной 0,5 (максимальная неопределенность).

Гидропневмоавтоматика

УДК 629.114

Обоснование диагностических параметров и алгоритма встроенного диагностирования гидрораспределителей с использованием метода Байеса

Жилевич М. И.

Белорусский национальный технический университет

Для повышения эффективности гидронасыщенных машин, выполняющих ответственные транспортные операции и работающих практически в непрерывном цикле или вахтовым методом, большое значение имеет уменьшение времени простоев. Решить эту задачу можно, в частности, путем снижения времени и затрат на поиск неисправностей (ПН) и их устранение.

На основе измерений параметров функционирования гидропривода (ГП) в различных контрольных могут быть получены логические схемы ПН. Обработку и анализ информации по разработанным алгоритмам можно возложить на бортовой микропроцессор встроенной системы диагностирования. Логическая структура диагностической модели ГП определяется состоянием гидрораспределителей (ГР), задающих режим функционирования ГП (по данным [1] отказы ГР составляют 20% общих отказов ГП). Одно и то же сочетание значений выходных параметров может соответствовать как исправному, так и неисправному техническому состоянию (ТС) ГП в зависимости от положения рабочего органа ГР. Поэтому в процессе синтеза алгоритмов ПН ГР важно предусмотреть возможность автоматического распознавать заданный оператором режим работы ГП.

Задача ПН заключается в постановке соответствия между комбинациями значений диагностических параметров $K = \{k_j, j = 1..j_{max}\}$ и ТС объекта $D_T = \{D_{T^i}, i = 1..i_{max}\}$, причем количество распознаваемых ТС должно максимально приближаться к перечню возможных неисправностей.

Метод Байеса [2] применяют, как правило, в статистической диагностике, однако детерминистские методы с учётом ряда допущений можно рассматривать как частный случай статистических. Поэтому для обоснования схем ПН ГР на предваритель-

Из дифференциального уравнения вынужденных колебаний массы m_n при режиме резонанса, когда $p_p \approx k$, получены выражения для расчёта приведённого коэффициента жёсткости двух пружин $c_n = m_n \cdot p_p^2$; и приведённого коэффициента демпфирования $n_n = r \cdot p_p / A_p$; и далее приведённого коэффициента сопротивления

$$B_n = 2n_n \cdot m_n.$$

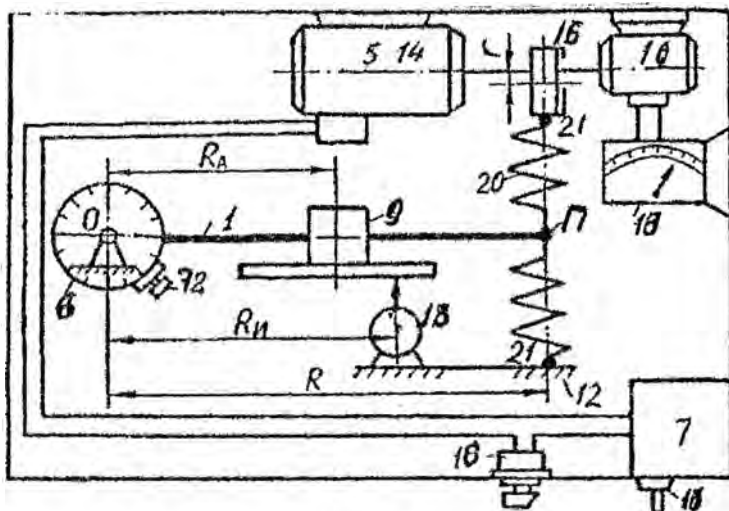


Рисунок 2

Литература

1. Юденич, В. В. Технические средства обучения и типовое оборудование для вузов и сузов / В. В. Юденич, А. В. Бушует, В. И. Бабий. – М.: Высшая школа, 1974. – 264 с.
2. Астахов, Э. И. Комплекс лабораторных работ по колебаниям машин на установке ТММ-46 / Э. И. Астахов, В. В. Кудин, А. С. Косинский // Машиностроение, 2005. – Вып.21. – Т. 2. – С. 36–40.

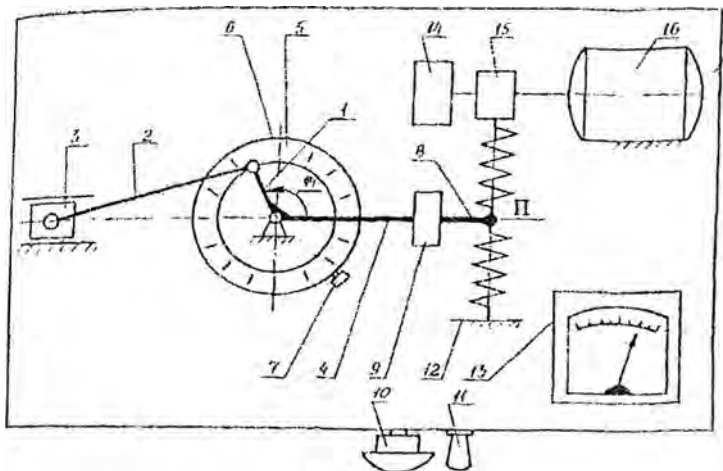


Рисунок 1

Для определения коэффициентов жёсткости и сопротивления в установке ТММ-46 сделаны следующие изменения. Добавлен измеритель 18 (рис. 2) амплитуды A_1 колебаний качающегося рычага 1, выполненный в виде стрелочного индикатора КИ-1, закреплённого на корпусе установки, шток которого контактирует с измерительной пластиной на добавочном грузе 9 рычага. Испытываемые пружины 20 закрепляются в зажимах 21. По заранее найденным массам и моментам инерции звеньев механизма 1,2,3 при $\varphi=0$ (рис. 1) и рычага с добавочным грузом рассчитывается и задаётся таблицей значений приведённая масса m_n в точке П крепления пружин к качающемуся рычагу (рис. 2). В режиме резонансных колебаний, когда совпадают угловые частоты p_p вынужденных и k собственных колебаний, замеряются значения p_p и по индикатору 18 амплитуда A_p вынужденных колебаний. При гармонической возмущающей силе

$$F(t)=F_0\cos(pt),$$

где F_0 – амплитуда возмущающей силы, определяемая радиусом к эксцентрика 6 (рис. 2), $F_0=c_n \cdot r$;

C_n – приведённый коэффициент жёсткости двух пружин.

УДК 531.8(085.8):621.01(076.5)

**Применение лабораторной установки ТММ-46
для определения жесткостных и диссипативных параметров
упругих элементов машин**

Астахов Э. И., Косинский А. С., Кудин В. В.
Белорусский национальный технический университет

Лабораторная установка ТММ-46, описанная в [1] и поставленная во многие вузы СССР (в том числе и Беларуси), предназначена для экспериментального определения приведённого момента инерции рычажного механизма методом резонансных колебаний. Задачей работы является разработка методики определения на этой установке коэффициента жёсткости и коэффициента сопротивления упругих элементов машин, например, цилиндрических пружин по идеям работы [2].

Лабораторная установка ТММ-46 (рис. 1) содержит модель кривошипно-ползунного механизма 1,2, 3, кривошип 1 которого с диском 6 выставляется по угловой шкале 5 на угол φ и соединяется жёстко фиксатором 7 с качающимся рычагом 4, имеющим добавочный груз 9, устанавливаемый на линейной шкале 8. Установка имеет три важных узла для исследования механических колебаний.

Во-первых, узел упругой системы, состоящий из качающегося рычага 4, закреплённого левым концом шарнирно в корпусе, а правым концом соединённого упруго пружинами с корпусом 12.

Во-вторых, узел вибровозбудителя из регулируемого электродвигателя 14 постоянного тока, эксцентрикового привода 16, передающего вынужденные колебания через пружины на правый конец рычага 4 в точку П.

В-третьих, измеритель частоты вынужденных колебаний, состоящий из тахогенератора 16 на выходе электродвигателя, и микроамперметра 13, ток которого по тарифовочной таблице позволяет определить частоту N вращения электродвигателя и цикловую частоту f (Гц) вынужденных колебаний и угловую частоту $p=2\Pi f$ (рад/с).

строения профиля кулачка для механизма с поступательно движущимся роликовым или плоским толкателем в зависимости от варианта задания.

Рекомендуется применять графические методы расчетов, отличающиеся наглядностью и позволяющие студентам глубже усвоить теоретические основы проектирования. Лист, посвященный анализу рычажного механизма, содержит план скоростей, ускорений и планы сил групп Ассура и начального звена механизма. Второй лист включает построение графиков кинематических характеристик толкателя, диаграмму графического определения основных размеров и построение центрального и действительного профилей кулачка методом обращенного движения.

Для облегчения выполнения курсовой работы разработано учебно-методическое пособие, включающее в себя задания на курсовую работу и методические указания по ее выполнению. Отдельные главы пособия построены в виде примеров выполнения разделов работы. Они содержат постановку задач, описание последовательности и методик проектирования, что позволяет четко определить место всех расчетов в общей схеме исследования.

Успевающие студенты имеют возможность по их желанию выполнить расчеты аналитическими методами. Поощряется самостоятельное составление соответствующих алгоритмов и разработка программ с использованием различных языков программирования или прикладных программных пакетов. При этом проводится сопоставление результатов расчетов графическим и аналитическим методом. Для проектирования кулачкового механизма студенты могут использовать разработанный на кафедре программно-методический комплекс "Синтез кулачковых механизмов", включающий в себя компьютерную программу и методические указания по курсовому проектированию.

Таким образом, организация курсового проектирования для специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис» позволила обеспечить комплексный подход к исследованию машинного агрегата, возможность самостоятельно творческого решения инженерных задач при успешном освоении методик проектирования.

емов курсового проектирования. Ранее студенты всех механических специальностей выполняли курсовой проект, состоящий из четырех разделов: динамики машинного агрегата, динамического анализа рычажного механизма, синтеза кулачкового механизма и синтеза системы управления машин-автоматов. С переходом на данных специальностях от проекта к курсовой работе встала задача сохранения комплексного подхода к проектированию при снижении объема работы.

В автомобильной технике широко применяются рычажные кривошипно-ползунные и кулачковые механизмы двигателей внутреннего сгорания, передаточные зубчатые механизмы. Учитывая, что по вопросам динамики машинного агрегата в целом, синтезу зубчатых зацеплений и кинематике зубчатых механизмов посвящен значительный объем практических и лабораторных занятий в первом семестре изучения предмета ТММ, на курсовое проектирование вынесены вопросы кинематического и силового анализа рычажных механизмов, а также синтеза кулачковых механизмов.

В качестве исходных данных для работы подобраны различные по компоновке схемы кривошипно-ползунных механизмов с двумя шатунно-поршневыми группами и кулачковых механизмов, соответствующие используемым в автомобильной технике – от малолитражных до большегрузных машин.

Курсовая работа состоит из разделов: «Динамический анализ рычажного механизма ДВС» и «Синтез кулачкового механизма газораспределения», каждому из которых соответствует графическая часть формата А1. При рассмотрении рычажного механизма последовательно производятся структурный и кинематический анализ, силовой расчет. В процессе расчетов студент уясняет взаимосвязь разделов курса теории механизмов и машин, приобретает навыки решения комплексной инженерной задачи, которая по своему содержанию соответствует разработке технического задания на проектирование в условиях подготовки производства реальных машин. Делается акцент на том, что результаты силового расчета являются исходными данными для прочностного расчета элементов и разработки конструкторской документации на изделие. Синтез кулачкового механизма включает в себя определение кинематических характеристик движения выходного звена, расчет основных размеров и по-

УДК 621.01

**Особенности курсового проектирования
по теории механизмов и машин для специальностей
«Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис»**

Анципорович П. П., Авсиевич А. М.

Белорусский национальный технический университет

Теория механизмов и машин (ТММ) является одной из основных общепрофессиональных дисциплин, необходимых для подготовки инженеров широкого профиля, сочетающих глубокие фундаментальные знания с объективной практической подготовкой. Знания и умения, полученные при изучении дисциплины ТММ, необходимы при освоении последующих специальных дисциплин, связанных с проектированием и расчетом машин, механизмов, их деталей и узлов. В соответствии с типовой программой, в результате изучения дисциплины студент должен иметь навыки составления расчетных схем машин и механизмов для решения различных технических задач, владеть методиками выполнения кинематических и динамических расчетов, в том числе с применением ЭВМ, уметь применять их результаты для получения оптимальных характеристик механизмов и машин. Итогом изучения дисциплины ТММ является курсовое проектирование, в процессе которого полученные знания и навыки должны быть закреплены.

Специфика специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис», которую необходимо учесть при организации обучения ТММ, заключается в освоении студентами принципов функционирования, рациональной эксплуатации и ремонта автомобиля – сложного машинного агрегата с широким диапазоном режимов работы, включающего в себя согласованно работающие отдельные механизмы различного строения. Это предполагает необходимость освоения синтеза и анализа различных механизмов, осознание взаимосвязи производимых в ТММ расчетов с последующими этапами их конструирования. Поэтому при разработке заданий на курсовой проект или работу следует стремиться к сохранению комплексного подхода к проектированию и исследованию машинного агрегата как системы механизмов. Соблюдение данного требования затрудняется в условиях имеющего место в настоящее время сокращения объ-

ностями. Перечислим некоторые из них: маховик способен выделять огромную удельную мощность, а срок зарядки может быть сколь угодно мал; накапливается и выделяется именно механическая энергия вращения, что существенно увеличивает КПД; срок консервации достаточно велик – более месяца; возможность рекуперации энергии, рассеиваемой в тормозах; маховик чрезвычайно долговечен и полностью экологически безопасен; способен стабилизировать корпус кузова. Недостатки быстровращающихся маховиков, как низкая удельная энергоемкость и опасность разрыва, тормозили их применение. Современное же развитие науки и техники подготовило хорошую почву для радикального увеличения полезных свойств маховика, ставшего вполне конкурентоспособным с другими энергоаккумуляторами, а по ряду показателей и превышающих их.

Для того, чтобы показать возможность применения маховика в качестве двигателя, приведем следующий пример. Для этого определим параметры используемого автомобиля: 1) масса автомобиля (с маховиком) $m=1220$ кг; 2) скорость движения (для использования в городе) $V_a=60$ км/ч; 3) расстояние, преодолеваемое при полной зарядке маховика $L=100$ км; 4) количество остановок $n=20$; 5) габаритные размеры автомобиля: длина $L=4,4$ м, ширина $B=1,6$ м, высота $H=1,4$ м; 6) радиус колес $r_k=0,31$ м; 7) плотность стеклопластика $\rho = 2600$ кг/м³; 8) допускаемые напряжения стеклопластика $\sigma = 5 \cdot 10^5$ кН/м²; 9) дорожный просвет $h=0,31$ м. В результате расчета получаем, что маховик массой 114 кг, радиусом 0,5 м, который вращается со скоростью 15459 об/мин, запасает энергию, достаточную для движения легкового автомобиля на расстоянии свыше 100 км с 20 остановками и разгонами.

Литература

1. Гулиа, Н. В. Маховичные двигатели / Н. В. Гулиа. – М: Машиностроение, 1976.– 176 с.
2. Джента, Дж. Накопление кинетической энергии: теория и практика современных маховичных систем / Дж. Джента. – М., 1980. – 470 с.
3. Непомнящих, Г. Е. Дисковые генераторы быстроходных волновых передач / Г. Е. Непомнящих, В. Н. Татищев // Волновые передачи; под ред. Н. И. Цейтлина, В. Н. Татищева. – М., 1975. – с. 187–198.

шийся маховик 1 помещен в вакуум герметичного кожуха для снижения вентиляционных потерь. Кожух крепится к корпусу автомобиля при помощи карданных подвесов 3 для компенсации гироскопических моментов, возникающих при подъемах или спусках, а также при поперечном крене. Вращение из герметичного корпуса передается с помощью быстроходной волновой передачи 2, использующей генератор волн специальной конструкции, описанный в литературе [3]. Далее вращение через муфту сцепления 4 (механическое однодисковое сцепление) передается на коническую передачу 5, которая используется для изменения направления потока мощности, поворачивая его на 90° относительно вертикальной оси маховика. Далее следует двухступенчатый клиноременной вариатор 6. Первая ступень автоматическая и предназначена для компенсации уменьшения скорости вращения маховика. Вторая ступень регулируется педалью, на которую воздействует водитель, и служит для разгона автомобиля. После вариатора крутящий момент через карданную передачу 7 и дифференциал 8 передается на колеса автомобиля 9.

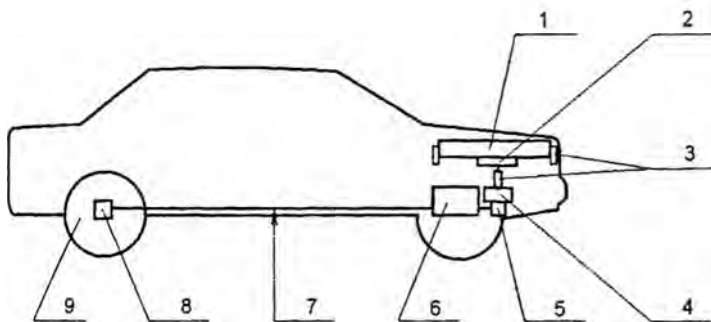


Рисунок 1. Схема автомобиля с маховичным двигателем

Силовой агрегат в виде быстровращающегося маховика, используемый в качестве автомобильного двигателя, не только не уступает ДВС по энергетическим и массогабаритным характеристикам, но и обладает огромными потенциальными возмож-

Теория механизмов и машин

УДК 629.113.65

Инерционные маховичные двигатели – один из путей развития экологически чистого городского и пригородного транспорта

Астахов Э. И., Пирч А. И., Саболевский А. К.

Белорусский национальный технический университет

Газовые выбросы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) городского автомобильного транспорта – один из основных источников загрязнения атмосферы и вредных осадков не только в городе, но и в пригородных зонах вдоль автомагистралей. Поэтому создание экологически чистого городского и пригородного автотранспорта является в настоящее время важной экоприоритетной задачей крупных городов и мегаполисов. Широко рекламируемое в настоящее время водородное топливо на наш взгляд является временной отсрочкой грозящей экологической катастрофы, так как массовый забор атмосферного воздуха или воды для получения водородных топливных элементов в массовом производстве неизбежно и непредсказуемо изменит водный и воздушный баланс внешней оболочки нашей планеты. Это и сейчас начинает проявляться в появлении «озоновых дыр» в разных точках атмосферы Земли. Применение экологически чистых инерционных маховичных двигателей в виде быстровращающегося ротора-маховика с большим запасом кинетической энергии было начато ещё в начале 20-го века [1,2], однако потом было почти забыто из-за бурного развития ДВС и дешевого в то время топлива. Особенно перспективно применение экологически чистых маховичных двигателей в городском и пригородном транспорте, когда на конечных остановках можно делать «раскруточные» станции для пополнения запаса кинетической энергии. Задачей работы является разработка схемы мобильной машины с маховичным двигателем для эксплуатации в городских условиях.

Общая схема трансмиссии предлагаемого автомобиля с маховичным двигателем приведена на рисунке 1. Быстровращаю-

Зависимость расчетного значения модуля упругости карбонитридного слоя от величины приложенной к индентору нагрузки; максимальное (■) и минимальное (□) значения рассчитанной величины для одного и того же цикла нагружения.

$$2,28 \times 10^{11} \text{ Па}$$



Рисунок 2

Зависимость расчетного значения модуля упругости карбидного слоя от величины, приложенной к индентору нагрузки; максимальное (■) и минимальное (□) значения рассчитанной величины для одного и того же цикла нагружения.

компонентов композиционного материала. Для построения интегральной зависимости модуля упругости от совокупности свойств фаз, полученной в результате суперпозиции реакций отдельных фаз с учетом их взаимодействия между собой, необходимо проведение индентирования при нагрузках обеспечивающих получение отпечатков на контактных площадках, охватывающих все фазы материала.

Выявлено, что расчетное значение модуля упругости во многом зависит от точности определения начальной координаты индентора при его погружении в испытуемый материал.

Показано, что погрешность определения данной величины обусловлена как приборными показаниями, так и условиями сопряжения контактирующих поверхностей индентора и испытуемого образца.

Определены численные значения модуля упругости карбонитридного и карбидного слоев быстрорежущей стали (рис. 1, 2). Они составили $2,22 \times 10^{11}$ и $2,28 \times 10^{11}$ Па соответственно.

$2,22 \times 10^{11}$ Па



Рисунок 1

4. Шнековый смеситель для получения коагулированных композиционных порошков / Ю. В. Соколов, В. Р. Калиновский, В. А. Хлебцевич [и др.]. – Решение от 18.05.2007г. о выдачи патента РБ по заявке № а20041192.

5. Устройства для снятия внутренних напряжений в формообразующих деталях: пат. 8644 Респ. Беларусь / Ю. В. Соколов, Г. И. Залужный, В. А. Хлебцевич, Д. А. Попок. – Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели. Промышленные образцы». – 2006. – № 3.

УДК 620.178

К вопросу оценки модуля упругости диффузионно-упрочненных слоев быстрорежущих сталей индентированием

Степанкин И. Н.

**Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого»**

В работе проведен анализ современных методов определения упругих характеристик локальных объемов многофазных материалов. Показано, что высокую достоверность обеспечивает метод индентирования малых объемов. Разработана уточненная методика и проведены экспериментальные исследования на образцах из быстрорежущей стали Р6М5. Определены значения поправки на податливость нагружающего узла испытательного комплекса “Instron” при расчетах модуля упругости материала, подвергнутого индентированию.

Выполнены экспериментальные исследования упругих характеристик диффузионно-упрочненных слоев. Исследован процесс контактного взаимодействия в системе индентор – упрочненный слой – сердцевина для рассмотренного диапазона нагрузок.

Показано, что характер упругого взаимодействия индентора с поверхностью образца зависит от соотношения размеров площади отпечатка индентора и фаз композиционного материала. При небольших нагрузках на индентор результаты исследования во многом определяются свойствами отдельных

подложку из стали 45 при резонансном режиме вибрации подложки [5].

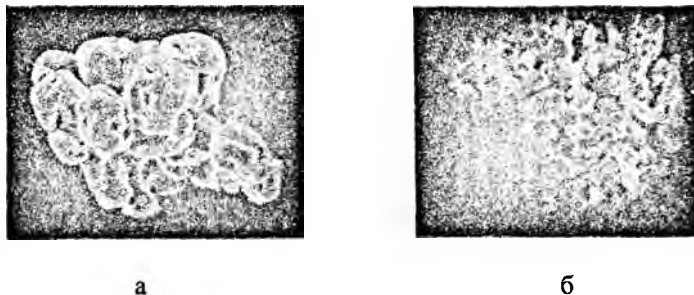


Рис.2 Формы частиц порошков материалов, х 700
а – NiCr, б –NiCr-Al (5%Al)

О степени компактности напыленного покрытия судили по изменению пористости покрытия на расстоянии $\sim 0,2$ мм от поверхности подложки. При напылении порошка NiCr пористость покрытий составляла 6,5...7,2%, добавки алюминия обеспечивали снижение пористости покрытия до 4,3%. Последнее обусловлено эффектом экзотермического взаимодействия компонентов композиций в плазменной струе и повышением теплосодержания частиц порошка.

Литература

1. Технология изготовления матриц литейных форм / Ю. В. Соколов, М. А. Садоха, Ф. А. Чахович, Д. А. Попок // Литейное производство. – 1996. – №1. – С. 9–12.
2. Борисов, Ю. С. Технология получения композиционных порошков для газотермического напыления с применением связующих веществ / Ю. С. Борисов, В. Р. Калиновский. – Минск: БелНИИНТИ, 1989. – 32 с.
3. Когломерированные композиционные порошки для газотермического напыления / В. Р. Калиновский, Ю. В. Соколов, А. Ф. Ильющенко [и др.] // Перспективы развития поверхностного и объемного упрочнения сплавов: Сб. науч. трудов; под ред. Л. Г. Ворошнина. – Минск, 2004. – С. 124-133.

Смеситель содержит привод 1 осевого вращения смесительной камеры 2, размещенной в теплоизолирующем сосуде 3 с нагревателем 4, автономный привод, образованный зубчатыми парами 5 и 6 червячного редуктора 7, приводимого от двигателя 8, рабочий орган, образованный двумя шнеками 9 и 10, размещенный в смесительной камере 2 эксцентрично относительно вертикальной оси вращения смесительной камеры и коаксиально друг относительно друга. Шнеки 9 и 10 выполнены с различным направлением их винтовых образующих. В донной зоне смесительной камеры 2 размещены скребки 11. Автономный привод – червячный редуктор 1 осевого вращения смесительной камеры 2 приводится во вращение от двигателя 12. Зубчатые пары 5 и 6 автономного привода шнеков 9 и 10 обесцвечивают их однонаправленное вращение. Планетарное вращение шнеков 9 и 10 происходит за счет их расположения в смесительной камере 2 эксцентрично относительно вертикально оси вращения смесительной камеры 2.

В смесители приготавливали порошковые композиции на основе порошка нихрома (NiCr). Просеянный через сито 0,1 порошок NiCr перемешивали с высокодисперсным порошком алюминия с добавлением органической связки, в качестве которой использовали лак на основе нитроцеллюлозы НЦ-62 (ГОСТ 6-10-391-74). Перемешивание проводили с одновременной сушкой связующего вещества при температуре 80°C с целью удаления растворителя связующего. После высушивания, сбора и отсева композиции представляли конгломерат, состоящий из частиц основы, на поверхности которых при помощи связки закреплялись частицы высокодисперсного алюминия.

Состав композиций, контролируемый методом химического анализа отобранных проб соответствовал ~ 4,0 и 5,0 мас.% алюминия. Органическая связка составляла 2,5...4,0 мас.%.

Формы частиц порошка NiCr и композиции NiCr-Al представлены на рис.2.

Напыление порошков проводили на плазменной установке УПУ -ЗД в дуге аргонно-аммиачной плазмы при мощности дуги 30 кВт, дистанции напыления 0,12 м на холодную модель-

Однако смешивание происходит при образовании градиентов скоростей между слоями и смесительный орган должен обеспечивать перемешивание отдельных слоев относительно друг друга так, чтобы в объеме смесителя была исключена «мертвая» зона. Имеющиеся конструкции только частично отвечают этому требованию, что отрицательно сказывается на степени гомогенности конечного продукта.

Предложено устройство типа шнекового смесителя положительный результат в котором проявлен в новой кинематике узлов рабочего органа и приводов [4]. Общий вид конструкции с вертикальным разрезом приведен на рис.1.

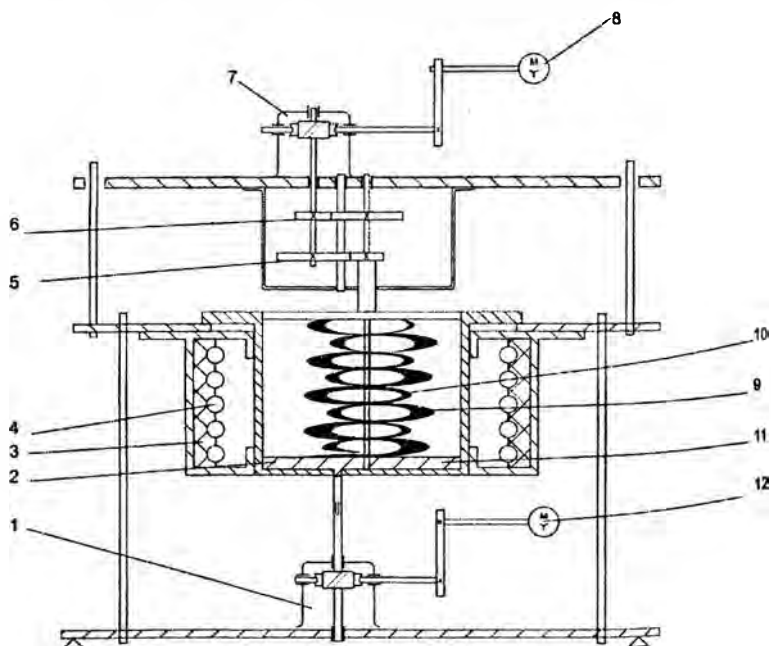


Рис.1 Шнековый смеситель

Получение и использование конгломерированных композиционных порошков для плазменного формообразования

Соколов Ю. В., Калиновский В. Р., Хлебцевич В. А.,
Позняк И. Г.

Белорусский национальный технический университет

Технологические особенности процесса плазменного напыления применительно к формованию сложных поверхностей типа матриц пресс-форм и кокилей требует создания условий, обеспечивающих высокую степень компактности напыленного слоя покрытия со стороны модели подложки [1]. Этот слой покрытия – рабочий слой матрицы – непосредственно участвует в процессе формообразования и является зоной наиболее часто подверженной разрушению, особенно при эксплуатации матриц в пресс-формах прямого прессования. На основе традиционного подхода – оплавления покрытий, напыленных порошками самофлюсующихся сплавов – проблема рабочего слоя крупногабаритных матриц не всегда решается, из-за возникновения таких явлений как коробление, отрыв слоя от модели или, напротив, приваривание частиц порошка к поверхности формообразующей модели и снижение тем самым качества формообразования. В этом случае оформление рабочего слоя целесообразно проводить напылением порошков композиционного типа, нивелирующими эффект оплавления покрытий, например экзотермически реагирующих порошков, в которых при нагреве протекают химические реакции, обусловленные взаимодействием компонентов композиций с формированием на модели напыленного слоя с высокими значениями плотности когезионной прочности, износостойкости [2].

Одним из способов получения смесей композиционных порошков является конгломерирование в присутствии связующего в смесительных устройствах различных конструкций – гравитационных, барабанных, лопастных, шнековых [3]. Использование последних двух конструкций смесителей является наиболее перспективным с точки зрения возможности достижения гомогенности гетерогенных смесей.

Твердость диффузионного слоя после обработки в порошковой среде составляет 36-38 HRC, поэтому после карбидизации изделия подвергали одинарной закалке с повторного нагрева в диапазоне температур 750-1050 °С и отпуску - 200-500 °С в течение 2-4 часов с последующим охлаждением на воздухе. Для защиты от окисления и обезуглероживания изделия нагрев под закалку осуществляли в контейнерах под слоем древесного угля.

Установлено, что максимальная твердость 66-68 HRC поверхностного слоя, при твердости сердцевины 48-50 HRC, достигалась при обработке в разработанных средах при температуре закалки 850 °С и отпуска - 200 °С. Микротвердость плавно уменьшается по толщине карбидизированного слоя. Высокая поверхностная твердость подтверждает отсутствие зоны внутреннего окисления.

Определены составы насыщающих сред для карбидизации, при использовании которых формируются слои с максимальным количеством мелкодисперсных равномерно распределенных карбидных частиц.

Выводы:

- разработана активированная металлооксидная среда и режимы термохимической обработки высокохромистых сталей, использование которых позволило получить карбидоупрочняемые слои заданной структуры и фазового состава;

- изучены строение и фазовый состав карбидизированных покрытий на стали X12Ф. Установлено, что при обработке в разработанных средах на поверхности высокохромистой стали формируется зона мелкодисперсных равномерно распределенных карбидных включений, >30 % из которых представляют собой наноразмерные частицы, зоны разветвленных крупных карбидов и внутреннего окисления поверхности отсутствуют.

- исследовано влияние условий последующей термообработки на твердость предварительно карбидизированной стали X12Ф1. Максимальная твердость HRC достигает на поверхности упрочненной стали 65-67 HRC, при закалке с 850-900 °С, отпуске – 200 °С, 2 ч.

травимость и более высокое содержание мелкодисперсных равномерно распределенных карбидных включений, и переходной, по травимости мало отличающейся от сердцевины, с карбидными включениями, концентрирующимися преимущественно по границам бывших аустенитных зерен. Легированный хромом цементит и карбиды Cr_7C_3 и Cr_{23}C_6 расположены в $\alpha\text{-Fe}$. Присутствие оксидов железа и хрома в слое не обнаружено.

Исследовано влияние температуры насыщения на распределение карбидов по толщине диффузионного слоя на стали X12Ф1. Исследования выполняли на анализаторе "Mini Magiscal" фирмы "Joese Loebl" (Англия) на шлифах по специальной методике с учетом направления прокатки прутка.

Термохимическая обработка при $900\text{ }^\circ\text{C}$ (4 ч) в разработанной насыщающей среде приводит к формированию слоя толщиной 450 мкм, в котором на глубинке 30, 90 и 200 мкм до 75-80 % от общего числа карбидов приходится на мелкие карбиды с площадью до 1 мкм^2 (рисунок 2). Причем, размеры самых мелких карбидов (>30 %) лежат в наноразмерном диапазоне. Увеличение температуры свыше $950\text{ }^\circ\text{C}$ приводит к снижению количества карбидов с минимальной площадью.

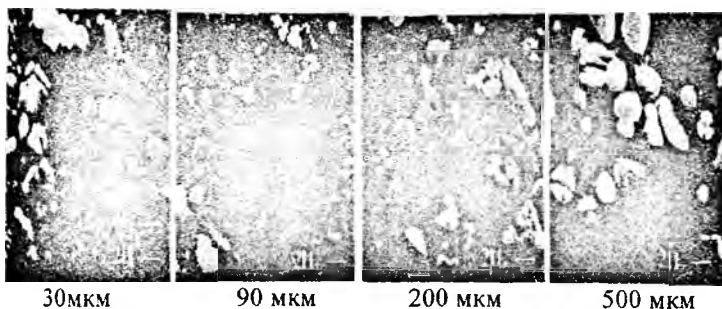


Рисунок 2 – Микроструктуры исследуемых на различном удалении от поверхности участков слоя на стали X12, подвергнутой карбидизации по режиму $900\text{ }^\circ\text{C}$ (4 ч). Травитель – реактив "Мураками". $\times 5000$

Установлено, что данная смесь после восстановления состоит из отдельных зерен металлического хрома, зерен, состоящих из смеси металлического хрома и окиси алюминия, и зерен твердого раствора окиси хрома в окиси алюминия, где растворено до 6% окиси хрома, в то время как в традиционно используемых смесях это легирование отсутствует. Микроструктурные исследования алюмотермических и традиционных смесей показали, что однотипные по цвету зерна одинакового фракционного и фазового состава различны по строению (рисунок 1).

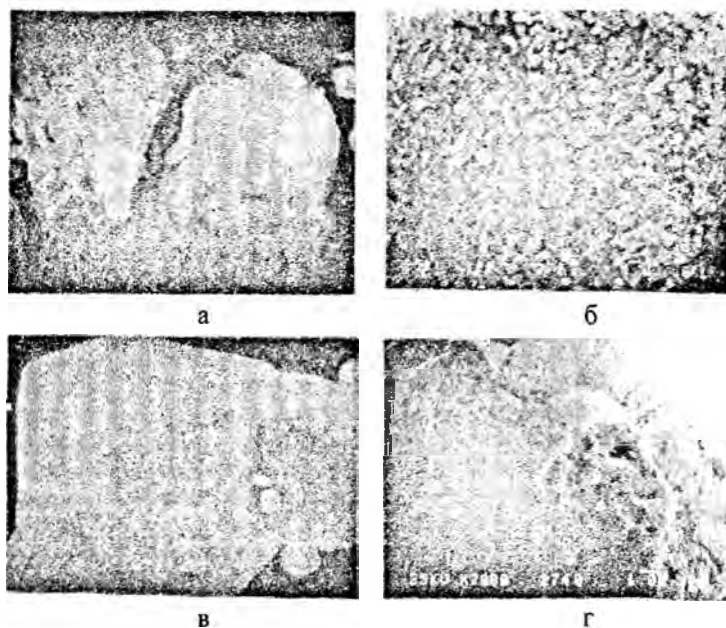


Рисунок 1 - Микроструктуры зерен Al_2O_3 (а, б) и Cr (в, г)
а, в – в традиционных смесях;
б, г - в металлотермических смесях

В результате насыщения в разработанной смеси на стали Х12Ф1 формируется диффузионный слой, состоящий из двух зон: верхней, так называемой активной, имеющей повышенную

УДК 621.785

Разработка технологии получения наноструктурированных покрытий на высокохромистых сталях

Галынская Н. А., Кухарева Н. Г., Петрович С. Н.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на предприятиях Беларуси для изготовления вырубных, вытяжных и гибочных штампов, режущего и мерительного инструмента, деталей насосов, буровой и топливной аппаратуры и т.п. используются высокохромистые стали типа X12. Для снижения их импорта необходимо увеличить эксплуатационные характеристики изготавливаемых из них изделий, что может быть достигнуто методами поверхностной обработки, в частности, диффузионной карбидизацией.

Карбидизация высокохромистых сталей типа X12 с последующей термической обработкой даст возможность создать благоприятный комплекс механических свойств: достаточно прочную и пластичную сердцевину с твердым износостойким, нехрупким поверхностным слоем.

Основной недостаток известных технологий – окисление поверхности изделий и наличие в диффузионном слое зоны разветвленных карбидных образований, отрицательно влияющих на эксплуатационные характеристики упрочненных изделий.

Целью работы явилось изучение возможности получения в карбидоупрочняемых диффузионных слоях на стали типа X12 мелкодисперсных равномерно распределенных карбидных включений при отсутствии внутреннего окисления.

В настоящем исследовании при проведении процесса карбидизации высокохромистых сталей в порошковую насыщающую среду помимо угля вводили хлористый аммоний, бикарбонат натрия, и хромирующую порошковую насыщающую смесь, приготовленную с использованием элементов технологии внепечного металлотермического производства. Насыщение проводили при 950-1050 °С в течение 3-6 час.

Проведен гранулометрический, рентгеноструктурный и микрорентгеноспектральный анализ хромирующей смеси.

боросилицированными слоями полученными при температуре 900°C.

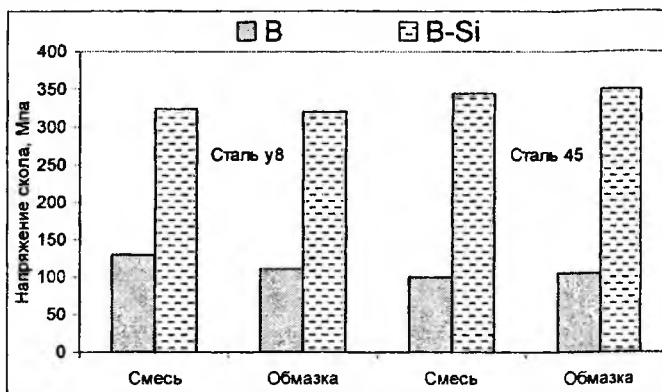


Рис.1. Влияние ХТО на микрохрупкость поверхностных слоёв, полученных при $T = 900^\circ\text{C}$, $t = 4$ часа.

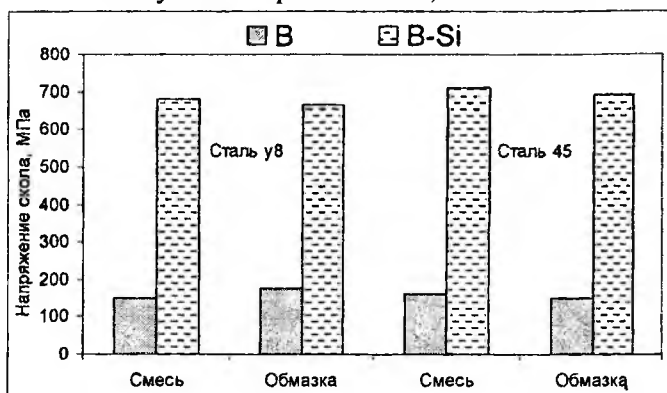


Рис.2. Влияние ХТО на микрохрупкость поверхностных слоёв, полученных при $T = 1000^\circ\text{C}$, $t = 4$ часа

Таким образом, изменяя параметры ХТО можно получить отличающиеся по структуре диффузионные слои с различным соотношением фаз FeB , Fe_2B , Fe_3Si , что в значительной степени влияет на сопротивление хрупкому разрушению поверхностных слоев деталей, эксплуатирующихся в реальных условиях в парах трения при периодических или постоянных ударных воздействиях.

располагается зона фазы Fe_2B , твердость которой несколько ниже - на уровне 13-15 ГПа. В случае боросилицирования при температуре 900°C микротвердость поверхности как раз и соответствует микротвердости фазы Fe_2B и находится на уровне 13 ГПа на образцах стали 45 и на уровне 14 ГПа на стали У8. При этом ХТО как в обмазках, так и порошковых смесях в негерметизируемых контейнерах дает практически аналогичные результаты.

Повышение температуры боросилицирования до 1000°C , как отмечалось выше, приводит к появлению в структуре диффузионного слоя значительной доли силицидных фаз (по данным рентгеноструктурного анализа наряду с Fe_2B присутствует α' -фаза (твердый раствор на базе соединения Fe_3Si), микротвердость которой заметно ниже, чем у фазы Fe_2B . Средняя микротвердость поверхности после боросилицирования при 1000°C находится на уровне 10-11 ГПа, что заметно ниже, чем в случае борирования (18-20 ГПа) и боросилицирования при температуре 900°C (13-14 ГПа), но значительно выше, чем твердость поверхности без ХТО - всего 2-2,5 ГПа.

Изменение структурного состояния боросилицированных слоев по сравнению с борированными очень заметно сказывается на микрохрупкости поверхностных слоев, которая определялась по напряжению (рис.1., 2.). Так, наиболее твердая поверхностная зона из фазы FeB боридного слоя обладает и наиболее высокой хрупкостью (минимальный уровень напряжения скола). В случае боросилицирования при температуре 900°C при снижении микротвердости всего на 20-25% (до уровня 13-14 ГПа, что характерно фазе Fe_2B) напряжение скола увеличивается в 3-3,5 раза (рис.1., 2.), что свидетельствует о значительном повышении сопротивлению хрупкому разрушению диффузионноупрочненных поверхностей деталей при их работе в условиях динамических воздействий в процессе изнашивания. Если получать боросилицированные детали при температуре ХТО 1000°C , то при относительно высокой микротвердости (10-11 ГПа), сопротивление сколу увеличивается в 5-5,5 раз по сравнению с борированными слоями и примерно в 2 раза по сравнению с

микроструктуре боросилицированные слои, полученные при 900°C, похожи на борированные. Боросилицированные слои имеют игольчатое строение, но иглы несколько более узкие, чем в случае борирования и между ними просматривается небольшая доля включений других фаз. В отличие от борированных слоев в структуре боросилицированных слоев рентгеноструктурным анализом не обнаружено фазы FeB.

Увеличение температуры боросилицирования не столь заметно влияет на толщину диффузионных слоев, как в случае борирования. Результаты исследований показывают, что если при температуре 900°C за 4 часа на стали 45 образуются боросилицированные слои толщиной порядка 90 мкм, то при 950°C за это время они - 100 мкм, а при 1000°C — 130 мкм. На стали У8 толщина диффузионных слоев несколько меньше, чем на стали 45, но тоже с увеличением температуры с 900°C до 1000°C резкого роста толщины боросилицированных слоев не наблюдается, что можно связать с изменением характера диффузионного насыщения двумя элементами (бором и кремнием) при увеличении температуры ХТО. Микроструктурный анализ показывает, что в случае боросилицирования при температуре 900°C преобладает насыщение бором - диффузионные слои имеют характерное для борирования игольчатое строение. При увеличении температуры в поверхностный слой диффундирует наряду с бором повышенная доля атомов кремния, что приводит к появлению в структуре диффузионных слоев значительной доли силицидных фаз, причем такое строение присуще как после боросилицирования стали 45, так и стали У8.

Структурные изменения, имеющие место в результате борирования и боросилицирования при различных параметрах ХТО, существенно сказываются на показателях микротвердости и микрохрупкости диффузионных слоев. Наиболее высокие показатели микротвердости имеют место в случае борирования сталей 45 и У8. Причем высокая микротвердость поверхности (18-20 ГПа) отмечается как в случае борирования в обмазках, так и порошковых смесях. Следует отметить, что такая твердость характерна находящейся вблизи поверхности фазе FeB, которая образуется в борированных слоях как при температуре 900°C, так при более высоких температурах. Под слоем фазы FeB

у поверхности болта. Таким образом, для повышения износостойкости крепежных элементов корпусов плугов, была применена высокотемпературная нитроцементация из паст, с последующей закалкой, а также наплавка предварительно борированной пластины. Эти покрытия дают твердость 63 HRC и обеспечивают упрочненный слой от 0,3 до 1,0 мм.

УДК 621.785.5

Использование двухкомпонентного диффузионного упрочнения с участием бора и кремния для повышения свойств сталей

Ситкевич М. В., Кузменко Н. Н.

Белорусский национальный технический университет

Актуальными являются исследования по комплексному насыщению бором совместно с другими элементами, которые позволяют получить более высокие характеристики диффузионно-упрочненных материалов при эксплуатации в различных условиях.

В работе применялись образцы из сталей 45, У8. Насыщение образцов проводили в борлирующих и боросилицирующих смесях и обмазках в которых поставщиком активных атомов бора являлся карбида бора, поставщиком атомов кремния-пылевидной кварц, в качестве газогенерирующего активатора использовался фтористый натрий. Насыщение проводили при температурах 900, 950, 1000°C в течение 1-5 часов.

При насыщении в течении 1 часа в борлирующей смеси при 900° С на сталях 45 и У8 формируются слои толщиной 70 и 60 мкм соответственно. При насыщении в течение 1 часа в борлирующей обмазке, формируются слои 60 и 50 мкм соответственно. Увеличение времени насыщения до 5 часов дает увеличение толщины борированного слоя до 140 и 130 мкм при насыщении в смеси соответственно на сталях 45 и У8, а при ХТО в борлирующей обмазке толщина слоя уменьшается до 130 и 120 мкм соответственно.

Боросилицирование образцов сталей 45 и У8 при температуре 900°C приводит к формированию диффузионных слоев, которые по толщине заметно меньше, чем борированные. По

представляющую собой чередование оплавленных зон, остатков боридных слоев и основы (рис. 6, 7).

На поверхности сформировалась заэвтектическая зона, содержащая в качестве избыточной фазы, бориды железа (зона 1). Ее твердость составляла 8500 МПа, далее следует нерасплавленный боридный слой (зона 2) с твердостью 14500 МПа, за ним эвтектика с твердостью 8000 – 8100 МПа (зона 3), а которой располагается нерасплавленная основа листа (зона 4).

Далее наблюдается такое же чередование структур только в обратном порядке.

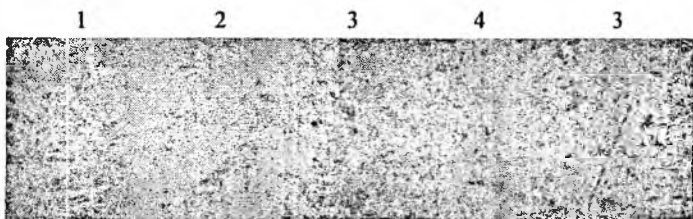


Рисунок 6 – Структура частично оплавленной борированной пластины
X500

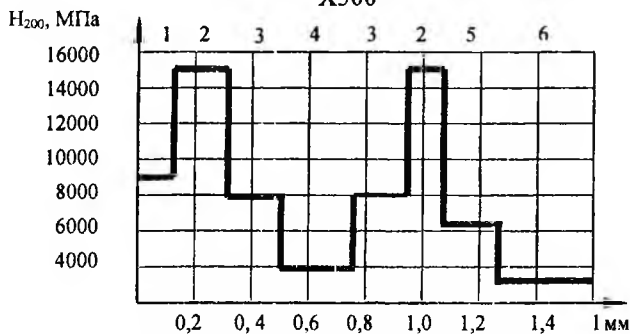


Рисунок 7 – Микротвердость частично оплавленной борированной пластины, после охлаждения в воде

Распределение микротвердости представлено на рисунке 7.

Дальнейшее увеличение времени выдержки приводит к полному оплавлению пластины и формированию эвтектической структуры с твердостью 8500 МПа и доэвтектической структуры

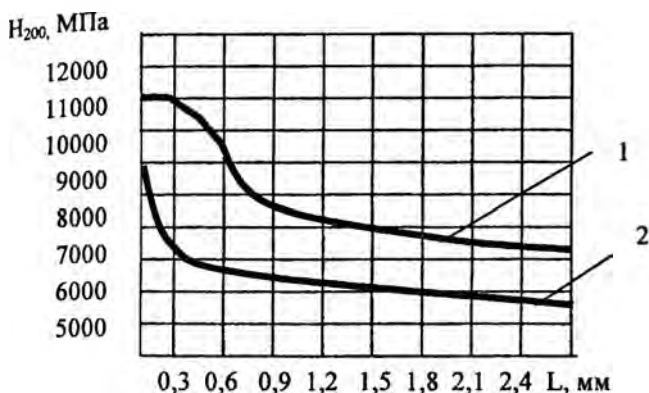


Рисунок 5 - Микротвердость стали после высокотемпературной нитроцементации и закалки:
1 – сталь 40Х, 2 – сталь 10

Глубина упрочненного слоя, представлена на графике распределения микротвердости, (рис 5).

Из которого видно, что после насыщения при температуре 1200 °С максимальная твердость составляет 9000 МПа; при температуре 1400 °С – 12000 МПа.

Другим вариантом повышения износостойкости, являлась наплавка износостойкого покрытия в виде предварительно борированной пластины.

Для термодиффузионной наплавки использовали пластины толщиной 0,7 и 1,0 мм. Пластины предварительно подвергали двух фазному борированию в порошковой среде.

Пластину, помещенную на головку болта, нагревали до температур образования эвтектики, выдерживали при данных температурах от 0,5 до 2 минут. Охлаждение проводили и в воде, и на воздухе.

Пластина величиной в 1 мм подвергнутая нагреву, в течение 1 минуты, имеет структуру наплавленного слоя,

закалкой, диффузионный слой состоит из мартенсита игольчатого и аустенита остаточного (рис. 1, 2)



Рисунок 1 - Структура стали 40X после нитроцементации при 1100 °С – 1200 °С
X500



Рисунок 2 – Структура стали 10 после нитроцементации при 1100 – 1200 °С
X350

Увеличение температуры насыщения с 1200 °С до 1400 °С, приводит к образованию на поверхности болта жидкометаллической фазы, что позволило получить на стали 40X за 90 секунд слой в 0,9 мм белого доэвтектического чугуна, (рис. 3).

Такой же эффект, от увеличения температуры насыщения, наблюдается и на стали 10, где помимо нитроцементованного слоя образуется ледебуритный слой величиной 30 – 40 мкм, (рис. 4).

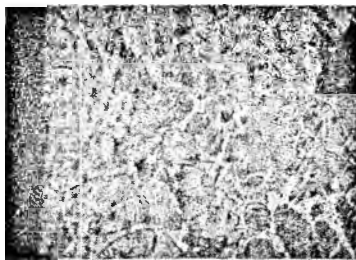


Рисунок 3 – Структура сталь 40X после нитроцементации при 1300 °С – 1400 °С
X500

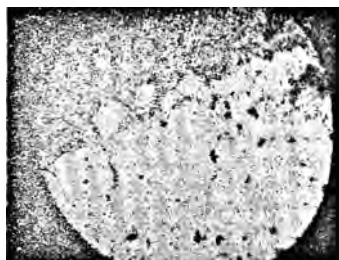


Рисунок 4 – Структура стали 10 после нитроцементации при 1300 – 1400 °С
X500

Материаловедение в машиностроении

УДК 629.735

Разработка износостойких покрытий для повышения долговечности крепежных болтов корпусов плугов

Ткаченко Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Разработка износостойких покрытий для сельскохозяйственной техники, в частности плугов, является актуальной проблемой, т.к. ресурс работы быстро изнашиваемых деталей отечественных плугов не превышает 20 – 50 га вспаханной земли.

Рабочие элементы корпусов плугов в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному абразивному изнашиванию. Одним из факторов ограничивающим срок эксплуатации рабочих элементов и увеличивающим частоту их замены, является повышенный износ головки болта, приводящий к нарушению целостности конструкции. Вследствие этого происходит отрыв рабочего элемента от корпуса плуга.

Болты изготавливают методом ОМД, при котором происходит наклеп всех поверхностей болта. Твердость головок болтов составляет 20 HRC – сталь 10, 30 HRC – сталь 40X. Для увеличения срока эксплуатации болта, было предложено использовать износостойкие диффузионные покрытия и наплавку предварительно борированной пластины.

Износостойкие диффузионные покрытия получали методом высокотемпературной нитроцементации из паст, используя нагрев токами высокой частоты.

Насыщение поверхности болтов проводили при температуре 1200 °С с последующей изотермической выдержкой 90 секунд, затем проводили закалку.

После ЭХТО величина диффузионного слоя составила на стали 10 - 300 мкм, а на стали 40X - 320 мкм. Металлографический анализ полученных структур показал следующее: после нитроцементации при 1200 °С, с последующей

Исходя из условия баланса мощностей (1) и учитывая зависимость (16), получим уравнение для определения минимального усилия $P_{i,iz}$, действующего на пуансон на стадии торможения при выдавливании плоской заготовки в радиальную полость матрицы

$$P_{i,iz} = \frac{\omega_0 \{k(F_1(\alpha, \beta) + 2\mu(L-m)) + \rho\omega_0^2 F_2(\alpha, \beta) \pm \rho\omega_0((L-m) + F_3(\alpha, \beta))\}}{2A} \quad (17)$$

Входящие в уравнение (17) функции $F_1(\alpha, \beta)$, $F_2(\alpha, \beta)$, $F_3(\alpha, \beta)$ определяются из условий плоской деформации путем исследования на экстремум мощности сил собственного сопротивления $W_{\text{н.д.}}$ деформируемой заготовки [5].

Анализируя зависимость (17), получаем достаточно полное отражение реальных условий ударного выдавливания с плакированием, так как в ней представлены реологические характеристики материала (k , ρ), параметры техпроцесса (μ , ν , ω), геометрия инструмента (L, A, m).

Принимая во внимание сказанное, уравнение (17) может быть рекомендовано для прогнозирования оптимального силового режима работы инструмента при ударном выдавливании стержневых изделий с плакированием торцевой части в матрице.

Литература

1. Шофман, Л. А. Основы расчета процессов штамповки и прессования / Л. А. Шофман. – М.: Машиностроение, 1981. – 340 с.
2. Губкин, С. И. Теория обработки металлов давлением / С. И. Губкин. – М.: Металлургия, 1947. – 532 с.
3. Томленов, А. Д. Теория пластического деформирования металлов / А. Д. Томленов. – М.: Металлургия, 1972. – 408 с.
4. Перлин, И. Л. Теория прессования металлов / И. Л. Перлин, Л. Х. Райтбарг. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с.
5. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л. А. Исаевича. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – 327 с. – ISBN 985 – 464 – 225 – 9.

где f_0 и f - площадь плоской заготовки до и после деформации; a - высота выдавленного профиля; $\lambda_{те}$ - коэффициент уширения при плоской деформации.

С целью упрощения расчета линейных размеров блоков 1, 2, 3, 4, 5, их масс и кинематических параметров процесса введем вспомогательные углы γ и θ , однозначно определяемые параметрами α, β, x и геометрическими параметрами инструмента:

$$\begin{cases} \gamma = \text{arccctg} \frac{a - x \text{tg} \beta}{x} = \text{arccctg} \left(\frac{AN}{x} - \text{tg} \beta \right) \\ \theta = \text{arctg} \frac{h}{a - A} = \text{arctg} \frac{h}{A(N-1)}. \end{cases} \quad (13)$$

Искомые величины длин граничных поверхностей l_{rs} для блоков поля на рис. 1 будут следующими

$$\begin{cases} l_{01} = L - m; l_{02} = A(2 - N); l_{04} = 2A(N - 1); l_{05} = A(N - 1); \\ l_{12} = \frac{x}{\cos \beta}; l_{13} = \frac{x - h}{\cos \alpha}; l_{23} = \frac{x}{\sin \gamma}; l_{34} = \frac{h}{\sin \theta} = l_{45}, \end{cases} \quad (14)$$

где m - путь деформирования, L - сумма длин плакируемой и плакирующей заготовок (рис. 2).

Зависимость (1) с учетом (3) - (14) представим в виде:

$$\begin{aligned} W_{\text{нн}} = kb \left[(l_{12} \cdot u_{12} + l_{13} \cdot u_{13} + l_{23} \cdot u_{23} + l_{34} \cdot u_{34} + l_{45} \cdot u_{45}) + 2l_{01} \cdot u_{01} + l_{02} \cdot u_{02} + \right. \\ \left. + l_{04} \cdot u_{04} + l_{05} \cdot u_{05} \right] + pb \left[(u_n)_{12} \cdot u_{12}^2 \cdot l_{12} + (u_n)_{13} \cdot u_{13}^2 \cdot l_{13} + (u_n)_{23} \cdot u_{23}^2 \cdot l_{23} + \right. \\ \left. + (u_n)_{34} \cdot u_{34}^2 \cdot l_{34} + (u_n)_{45} \cdot u_{45}^2 \cdot l_{45} \right] \pm (m_1 \omega_{01} \cdot u_{01} + m_2 \omega_{02} \cdot u_{02} + m_3 \omega_{03} \cdot u_{03} + \\ + m_4 \omega_{04} \cdot u_{04} + m_5 \omega_{05} \cdot u_{05}). \end{aligned} \quad (15)$$

Выражение (15) в результате преобразований с учетом (3) - (14) запишется следующим образом

$$W_{cc} = b \omega_{01} \left\{ k \left[F_1(\alpha, \beta) + 2A(L - m) \right] + \rho_{01}^2 F_2(\alpha, \beta) \pm \rho_{01} \left[(L - m) + F_3(\alpha, \beta) \right] \right\}, \quad (16)$$

Мощность $W_{a\dot{e}i.}$, затраченная на преодоление напряжений $(q_{a\dot{e}i.})_{rs}$, рассчитывается по уравнению

$$W_{a\dot{e}i.} = q_{a\dot{e}i.} \cdot l_{rs} \cdot b \cdot v_{rs} = \rho(v_n)_{rs} v_{rs}^2 \cdot b l_{rs}. \quad (9)$$

Силы инерции $P_{\dot{e}i.}$, возникающие в заготовках при ударном воздействии на нее пуансона, определяется по формуле

$$P_{\dot{e}i.} = \sum_{i=1}^5 m_i \omega_i, \quad (10)$$

где m_i - массы блоков 1, 2, 3, 4, 5 в принятом поле линий скольжения; ω_i - вектор ускорения частиц металла в жестких блоках 1, 2, 3, 4, 5 движущейся заготовки.

Учитывая выражение (10) и опуская в нем знак “минус”, обозначающий противоположное направление векторов силы инерции и ускорения блоков 1, 2, 3, 4, 5, запишем зависимость для расчета $W_{\dot{e}i.}$

$$W_{\dot{e}i.} = \sum_{i=1}^5 m_i \omega_i v_i, \quad (11)$$

где v_i - вектор скорости частиц в жестких блоках 1, 2, 3, 4, 5

Для определения усилия, воспринимаемого пуансоном в процессе выдавливания, необходимо с помощью параметров поля α, β, χ размеров пуансона $2A, b$, уширения N выразить размеры границ блоков l_{rs} , определить массы блоков m_i , установить соотношение между кинематическими параметрами точек деформируемой заготовки $v_{rs}, (v_n)_{rs}, \omega_i$ и блока 1 (v_{01}, ω_{01}).

Величина уширения N в условиях плоской деформации определяется из выражения

$$N = \frac{f}{f_0} = \frac{a}{A} = \frac{1}{\lambda}, \quad (12)$$

5), v_{rs} - величина разрыва скорости вдоль границ смежных блоков r, s ; k - постоянная пластичности деформируемого материала (определяется по результатам динамических испытаний).

Для расчета мощности, затраченной на преодоление сил контактного трения $W_{\partial\partial}$, используется зависимость

$$W_{\partial\partial} = \sum \tau_k \cdot l_{rs} \cdot b \cdot v_{rs}, \quad (5)$$

где τ_k - касательные напряжения, действующие на поверхности трения между деформируемой заготовкой и инструментом. Величину касательных напряжений можно определить по уравнению [3]

$$\tau_k = 2\mu k, \quad (6)$$

где μ - коэффициент пластического трения, который характеризует состояние поверхности инструмента и может изменяться от $\mu = 0$ (идеально гладкие поверхности) до максимального значения $\mu = 0,5$ на поверхностях, где $\tau_k = k$.

С учетом (4), (5), (6) выражение для расчета мощности $W_{\text{н.д.}}$ принимает вид

$$W_{\text{н.д.}} = (1 + 2\mu) \sum k l_{rs} b \cdot v_{rs}, \quad (7)$$

Согласно [3], скоростное пластическое течение частиц деформируемого материала через поверхность разрыва сопровождается изменением их количества движения. Под действием импульса силы, величина которого определяется указанным изменением количества движения, на поверхностях разрыва возникают дополнительные динамические напряжения $(q_{\partial\partial i})_{rs}$, определяемые по уравнению [3]

$$(q_{\partial\partial i})_{rs} = \rho (v_n)_{rs} \cdot v_{rs}, \quad (8)$$

где ρ - плотность деформируемого материала (принимается значение более плотного материала из двух деформируемых); $(v_n)_{rs}$ - нормальная к поверхности разрыва компонента скорости (определяется по годографу скорости по рис. 16).

скоростном выдавливании плакируемой и плакирующей заготовок в радиальную полость матрицы толщиной h (рис. 2), необходимо при заданных граничных условиях, размерах инструмента, учесть массу пуансона и заготовок, а также кинематику течения металла. Величину усилия, найдем из уравнения баланса внешних и внутренних сил, которое представим в виде:

$$W_i = W_{\text{н.н.}} = W_{\text{н.д.}} + W_{\text{д.д.}} \pm W_{\text{д.и.}}, \quad (1)$$

где W_n - мощность движения пуансона (мощность внешних активных сил); $W_{\text{н.н.}}$ - суммарная мощность сил сопротивления; $W_{\text{н.д.}}$ - мощность сил (внешних и внутренних) собственного сопротивления деформированию; $W_{\text{д.д.}}$ - мощность от действия динамических напряжений; $W_{\text{д.и.}}$ - мощность от действия инерционных сил (взято со знаком «-» т.к. плакирование осуществляется на стадии торможения).

$$W_i = P_{i.i\bar{e}} \cdot v = p_{i.i\bar{e}} 2A \cdot b \cdot v, \quad (2)$$

где $P_{i.i\bar{e}}$ и $p_{i.i\bar{e}}$ - соответственно усилие и давление, действующие со стороны заготовки на пуансон; A - высота заготовки; b - ширина заготовки в плоскости перпендикулярной к направлению движения пуансона.

Выражение для расчета мощности $W_{\text{н.д.}}$ представим в виде

$$W_{\text{н.д.}} = W_{\text{д.д.с.}} + W_{\text{д.д.т.}}, \quad (3)$$

где $W_{\text{д.д.с.}}$ - мощность внутренних сил сопротивления, действующих на поверхностях разрыва скорости; $W_{\text{д.д.т.}}$ - мощность сил контактного трения, действующих на поверхностях контакта деформируемых материалов и инструмента.

Величина мощности $W_{\text{д.д.с.}}$ определяется из уравнения

$$W_{\text{д.д.с.}} = \sum k l_{rs} \cdot v_{rs}, \quad (4)$$

где l_{rs} - длина границ между блоками r , s (r и s - номера блоков в принятом поле линий скольжения; $r = 0, 1, 2, 3, 4$; $s = 1, 2, 3, 4$,

кинематически возможное поле линий скольжения (рис. 1а) и соответствующий им годограф скоростей (рис. 1б). Выбор метода обусловлен тем, что он позволяет учесть ряд динамических явлений, возникающих при взаимодействии пуансона с заготовками, кинематику процесса, провести анализ нестационарного нагружения с учетом стадий процесса и получить решение в замкнутой аналитической форме. Кинематически возможное поле с тремя варьируемыми α, β, χ параметрами выбрано на основе известного поля линий скольжения для третьего периода штамповки при $\alpha/h > 3$ [1], образованного дугами равного радиуса, в котором участки дуг заменены отрезками прямых линий.

При этом принимаем следующие допущения: материал заготовки однородный, несжимаемый, изотропный, жесткопластический, удовлетворяющий критерию текучести Губера-Мизеса; инструмент абсолютно жесткий; формирование очага пластической деформации происходит в начальной стадии соударения пуансона с заготовкой; вид поля линий скольжения в каждый момент времени не зависит от абсолютной скорости и ее изменения (квазистатическая задача); силы инерции не оказывают влияния на кинематику формоизменения (псевдостационарное течение).

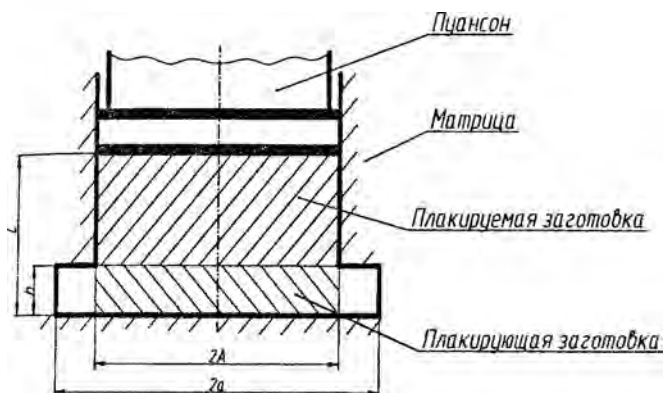


Рисунок 2 - Схема плакирования стержневых изделий ударной нагрузкой

Для получения наиболее полного решения динамической задачи по определению усилия, действующего на пуансон при

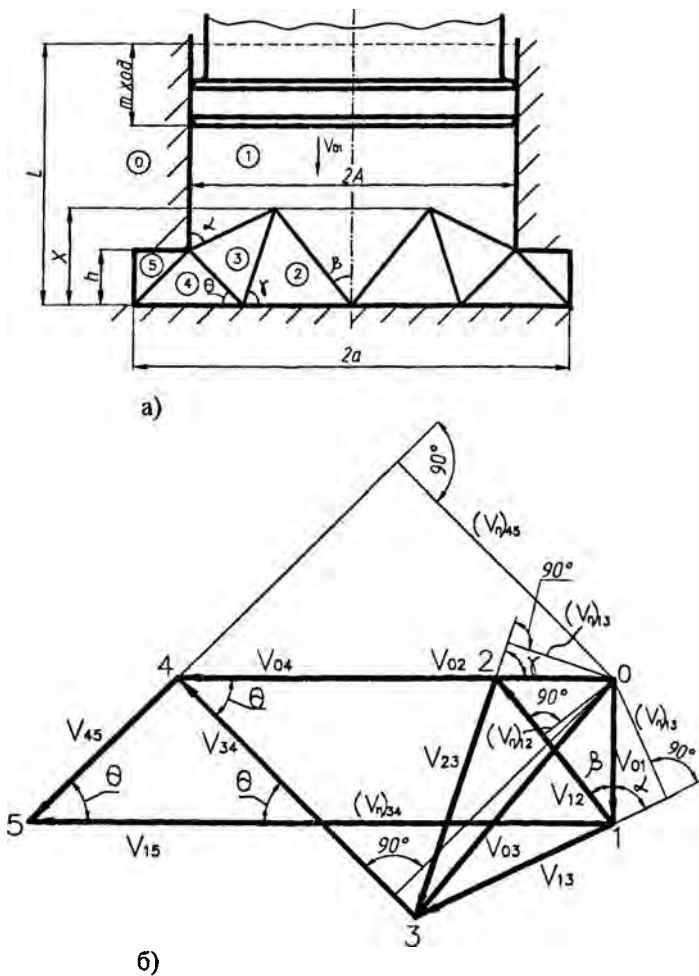


Рисунок 1 - Кинематически возможное поле линий скольжения (а) и соответствующий ему годограф скоростей (б)

Для решения задачи используем приближенный энергетический метод (метод верхней оценки). Для расчета интегральных энергосиловых параметров с помощью этого метода используем

УДК 620. 4539. 37

**Математическое моделирование энергосилового режима
процесса скоростного выдавливания стержневых изделий
с плакированием торцевой части**

Качанов И. В., Шарий В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Метод скоростного выдавливания с плакированием торцевой части применяется для получения изделий стержневого типа с утолщением на одном конце из разных сталей и сплавов и является разновидностью процесса прессования [1,2]. Основы теории и практики процесса выдавливания (прессования) заложены в работах отечественных и зарубежных исследователей [1-4].

Пластическое течение металлов и сплавов в процессе скоростного выдавливания с плакированием сопровождается сложным комплексом специфических, взаимосвязанных явлений, детальный теоретический анализ которых сопряжен со значительными трудностями. Вследствие этого к настоящему времени для определения энергосиловых параметров процесса создан ряд теорий, с различных позиций описывающих поведение материалов в условиях скоростного нагружения.

Однако практическое применение расчетных зависимостей, полученных на основе этих теорий, затруднено, так как они ориентированы на использование эмпирических и полуэмпирических данных, для получения которых необходимо проведение дополнительных экспериментов. Известные более точные решения, основанные на использовании модели жесткопластического материала, являются либо слишком трудоемкими (решение по методу характеристик), либо не учитывают в полном объеме условия деформирования (метод верхней оценки).

На основании вышеизложенного в данной работе предлагается методика расчета усилия, действующего на пуансон при скоростном выдавливании с плакированием торцевой части заготовки.

Поскольку $\sigma_{н_у} = \sigma_{н_ср} = \sqrt{2}(\sigma_r + \sigma_z)/2$, то в соответствии с уравнением пластичности $\sigma_z - \sigma_r = \sigma_0$ можно записать $\sigma_z = \sqrt{2}\sigma_{н_ср}/2 + \sigma_0/2$, а с учетом значения $\sigma_{н_ср}$ получим $\sigma_z = \sigma_0 [3\sqrt{2}(\sqrt{h/2} - 1) + 1]/2$.

Для случая, когда толщина стенки трубы $h = 12$ мм, а величина $V_c = 2\sqrt{2}$ мм, значение $\sigma_z = 3,56\sigma_0$. При $V_c = 5\sqrt{2}$ мм и отсутствии упорного буртика $\sigma_z = 1,66\sigma_0$. Таким образом, для достижения требуемой величины V_c необходимо увеличивать осевое напряжение более чем в два раза.

Литература

1. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.
2. Зубцов, М. Е. Листовая штамповка / М. Е. Зубцов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
3. Попов, Е. А. Основы теории листовой штамповки. / Е. А. Попов. – М.: Машиностроение, 1968. – 284 с.
4. Ершов, В. И. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки / В. И. Ершов, В. И. Глазков, М. Ф. Каширин. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.
5. Особенности формообразования пластическим деформированием фланца в трубной заготовке / Л. А. Исаевич [и др.] // *Металлургия*. – Минск: Наука и техника, 2005, Вып.29. – С. 157–164.
6. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. И. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
7. Способ повышения усталостной прочности и долговечности малолстовых рессор / Л. А. Исаевич, Д. М. Иваницкий // *Металлургия*. – Минск: Наука и техника, 2005, Вып.29. – С. 148–157.
8. Третьяков, А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – М.: *Металлургия*, 1973. – 224 с.
9. Грудев, А. П. Внешнее трение при прокатке / А. П. Грудев. – М.: *Металлургия*, 1973. – 298 с.

имеющей наружный диаметр $d_1 = 294$ мм и внутренний

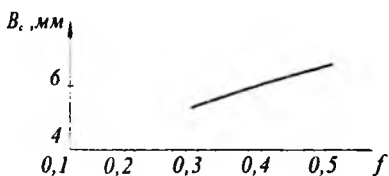


Рисунок 3 – Зависимость величины V_c от коэффициента контактного трения f

$d_0 = 270$ мм. Результаты расчета отражены на графике (рис. 3).

Как видно из графика, с уменьшением коэффициента контактного трения протяженность свободной поверхности V_c в

зоне перехода от полости трубы к фланцу уменьшается. Однако этого не достаточно, чтобы удовлетворить условию чертёжа, согласно которому величина V_c не должна превышать

$2\sqrt{2}$ мм, что соответствует фаске в зоне перехода от цилиндрического отверстия к фланцу равной $2 \times 45^\circ$. Поэтому требуется совершенствование данного процесса отбортовки.

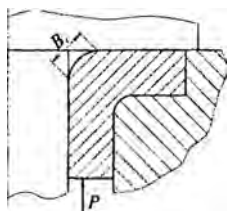


Рисунок 4 – Конструкция матрицы с ограничением радиального течения фланца

С этой целью предложено ввести упорный буртик в матрице для ограничения радиального течения фланца от центра к периферии (рис. 4).

Это позволит направить течение металла в заполненные полости, образованной заготовкой, цилиндрической частью пуансона и его торцом.

Найдем чему будет равно напряжение σ_{ny} при заданном

$V_c = 2\sqrt{2}$ мм для предельного коэффициента трения $f = 0,5$.

Согласно уравнению (6) $\sigma_{ny} = 3\sigma_0(\sqrt{h/2} - 1)$.

$$\sigma_{n_{\delta}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_0 \left(1 + 2,2 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{d_1 - d_0}{2h} \right). \quad (4)$$

Для определения величины пластического формоизменения торообразного участка заготовки воспользуемся известным [7] решением о заполнении металлом углубления в деформирующем инструменте, приведенным для случая плоской деформации. В наших обозначениях (рис. 2) его можно записать в виде:

$$\sigma_{n_{\delta}} = \beta \sigma_0 \left(1 + \frac{1}{\delta} \right) \left[\left(\frac{B}{B_c} \right)^{\delta} - 1 \right]. \quad (5)$$

Здесь $\delta = \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{f}{\operatorname{tg} 45^\circ} = f$, где f - коэффициент контактного трения. Параметр Лоде в нашем случае можно принять $\beta \approx 1$, а в соответствии с рис. 2 величина $B = h / \sin 45^\circ = \sqrt{2} h$.

Тогда последнее уравнение примет вид:

$$\sigma_{n_{\delta}} = \sigma_0 \left(1 + \frac{1}{f} \right) \left[\left(\frac{B}{B_c} \right)^f - 1 \right]. \quad (6)$$

Теперь будем полагать, что $\sigma_{n_y} = \sigma_{n_{cp}}$, т.е. примем равенство между (4) (6). Искомой величиной в нашем случае является B_c - ширина площадки свободной поверхности.

$$B_c = B \left[1 + \frac{f \left(1 + 2,2 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{d_1 - d_0}{2h} \right)}{\sqrt{2(f+1)}} \right]^{1/f}. \quad (7)$$

По полученной формуле произведен расчет параметра B_c для разных коэффициентов контактного трения при формообразовании фланца внешним диаметром $D = 375$ мм из трубы,

$$\sigma_z = \sigma_0 \left(1 + 1,1 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{0,5d_1 - r}{h} \right). \quad (2)$$

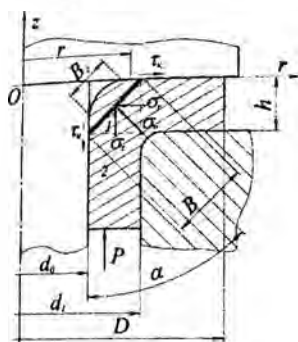


Рисунок 2 – Схема очага деформации при формоизменении торообразного участка

Радиальные (1) и осевые (2) напряжения могут вызвать пластическое формоизменение торообразного участка фланцевой части трубы. Такое формоизменение в свою очередь обусловлено действием нормального напряжения в площадке, равнонаклоненной к осям координат $\rho\alpha z$ (рис. 2), которое согласно [6]

$$\sigma_n = \sigma_r a_r + \sigma_z a_z.$$

Но поскольку в нашем случае $a_r = a_z = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$, то в соответствии с предыдущим равенством $\sigma_n = \frac{\sqrt{2}}{2} (\sigma_r + \sigma_z)$. Подставив сюда значения σ_r

и σ_z соответственно из выражений (1) и (2), получим:

$$\sigma_n = \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_0 \left(1 + 2,2 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{d_1 - 2r}{h} \right). \quad (3)$$

Анализируя последнее выражение, нетрудно заметить, что значение σ_n зависит от переменной r , которая изменяется в пределах $\frac{d_0}{2} \leq r \leq \frac{d_1}{2}$. При $r = \frac{d_1}{2}$ величина σ_n будет минимальной, а при $r = d_0/2$ она станет максимальной. Учитывая это, очевидно, справедливо будет воспользоваться некоторым средним значением σ_n , т.е. отвечающим значению переменной $2r = \frac{1}{2}(d_1 + d_0)$. Тогда уравнение (3) примет вид:

рументом [1-4]. В результате такой операции конец трубной заготовки подвергается раздаче под прямым или близким к нему углом [4, 5]. При реализации процесса раздачи по данной схеме

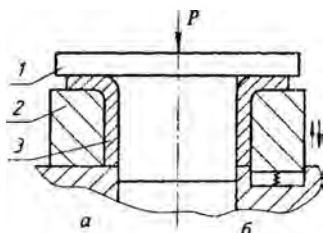


Рисунок 1 – Схема раздачи (а) и осадки (б) трубной заготовки:

1- пуансон; 2 - матрица;
3 - заготовка

деформирующий пуансон должен содержать плавный переход от цилиндрической части к плоскости в виде торообразной поверхности, которая неизбежно копируется в раздаваемом участке заготовки (рис. 1, а). Однако в ряде случаев это не допускается чертежом готовой детали, например, при изготовлении корпуса водила бортовой передачи заднего

моста автомобилей МАЗ.

Учитывая это, предложено после отбортовки по описанной выше схеме производить пластическое формоизменение торообразного участка заготовки за счет осадки ее цилиндрической части (рис. 1, б). При этом полученную трубную заготовку с плоским фланцем, имеющим торообразный переход к цилиндрической полости, устанавливают в подпружиненную матрицу, а внутрь заготовки вводят ступенчатый пуансон без торообразного перехода от торца ступени к цилиндру.

При определении усилия, необходимого для формоизменения торообразного участка заготовки, процесс деформирования будем рассматривать как открытую прошивку фланца наружным диаметром D трубчатым прошивком, имеющим наружный диаметр d_1 , а внутренний – d_0 .

Тогда согласно [6]

$$\sigma_r = \sigma_0 \left(1,1 \ln \frac{D}{d_1} + \frac{0,5d_1 - r}{h} \right), \quad (1)$$

этом угол поворота валков до их полного контакта с заготовкой $\Delta\alpha_2 = \alpha_n - \alpha_m = 0,6^\circ$. Выдавливаемый в радиальном направлении металл за угол поворота валков на $\Delta\alpha_2$ в дальнейшем образует выступ высотой 0,16...0,17 мм. Поверхность контакта валков с заготовкой при этом имела вид, приведенный на рис. 2,б (правая часть). Опыты прокатки проводили в холодную и с нагревом заготовок до температуры 1030 К. В результате прокатки получены гладкие, без макродефектов поверхности и без кривизны прутки со слабо выраженными продольными выступами.

В исходном состоянии, после холодной и горячей прокатки твердость по Бринеллю составляла соответственно 95; 150 и 110, временное сопротивление на разрыв (образцы стандартные, $d = 6$ мм) 370; 500 и 400 МПа, относительное удлинение 11,6; 9,8 и 17,7 %, сужение слабо выраженной шейки 16; 19 и 28 %.

Литература

1. Колачев, Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. – М.: Металлургия, 1981. – 416 с.
2. Прокатка малопластичных металлов с многосторонним обжатием / Л. А. Барков [и др.]. – Челябинск: Металлургия, 1988. – 304 с.
3. Ложечников, Е. Б. Прокатка непрерывно литых прутков латуни в четырехвалковом калибре / Ложечников Е. Б., Кудин М. В. // Прогрессивные технологии обработки материалов давлением: материалы международной научно – технической конференции. – Мн.: Технопринт, 2004. – С. 70–81.

УДК 621.77.001

Силовые и кинематические параметры формообразования фланцев в трубных заготовках

Исаевич Л. А., Сидоренко М. И.,
Гуринович В. А., Шиманский А. В.

Белорусский национальный технический университет

Пластическое формообразование относительно широких фланцев в трубных заготовках проводится в большинстве случаев посредством их отбортовки, являющейся завершающей стадией процесса раздачи концов этих заготовок жестким инст-

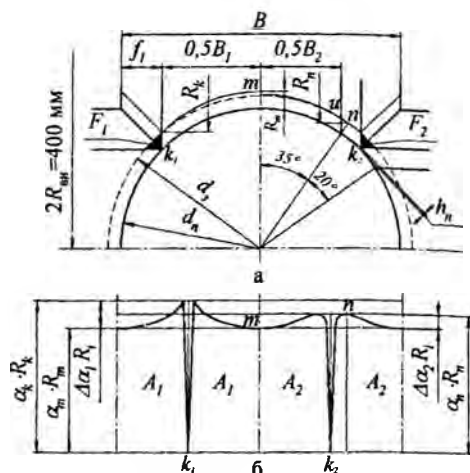


Рисунок 2 – Схема калибров «круг-круг» (а) и поверхности контакта валков с заготовкой (б) в четырехвалковом калибре

Металл при угле поворота валков $\Delta\alpha_1 = \alpha_k - \alpha_m = 0,92^\circ$ выдавливался в радиальном направлении и отсекался острыми кромками в сужающиеся зазоры между фасками валков. Образующиеся в дальнейшем заусенцы препятствовали смыканию валков и получению прутков требуемого диаметра. При этом поверхность контакта валков с заготовкой имела вид, приведенный в левой части рис. 2,б. Для получения гладких прутков требовалась операция скальпирования или прокатки за два прохода: первый на несколько больший требуемого диаметра с образованием 4-х продольных выступов, и второй на требуемый диаметр с завальцовкой выступов.

Для исключения образования заусенцев и получения прутков за один проход изготовлены и используются валки с калибром, приведенном на рис. 2,а (правая часть). Рабочая часть калибра этих валков состоит из двух элементов: дуги, соответствующей углу 70° и ширине B_2 , и сопрягаемых с ней двух прямых uk_2 , образующих с фасками острые кромки k_2 . При такой калибровке первоначальный контакт с заготовкой происходит по прямолинейным участкам профиля калибра в точке n , соответствующий катающему радиусу $R_n = 191,4$ мм и углу захвата $\alpha_n = 6,5^\circ$. При

равнивания оси проведены эксперименты прокатки прутков в калибре с четырехсторонним обжатием [2, 3].

Четырехстороннее обжатие достигалось четырьмя валками с номинальным диаметром $2R_n = 400$ мм, образующими соответствующий прокатываемому профилю калибр круглого сечения

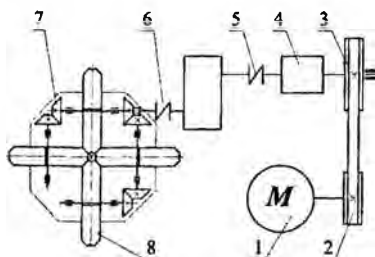


Рис. 1. Схема прокатного стана с четырехсторонним обжатием:

1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – коробка перемены передач ЗИЛ - 157; 4 – муфта; 5 – редуктор двухступенчатый; 6 – муфта; 7 – коническая зубчатая передача; 8 – валок-диск

(рис. 1).

Кинематическая схема стана приведена на рис. 1. Валки представляют собой диски посаженные через ступицы на шлицевые валы. Прокатку проводили по схеме «круг – круг» за один проход. При этом использовали два варианта калибровки валков.

В первом варианте калибр представлял круг, образованный по числу валков четырьмя дугами, соответствующими радиусу прокатанного прутка (на рис. 2,а – левая часть). Для образования между валками круглой полости – калибра между валками устанавливали эталонный настроечный пруток и их сводили до полного контакта с этим прутком. При этом за счет возможности осевого перемещения на шлицевых валах валки самоустанавливались и смыкались по фаскам

Поскольку прокатку проводили по схеме «круг – круг» контакт валков с заготовкой диаметром d_3 начинался по острым кромкам k_1 , образованным пересечением рабочей поверхности с фасками. При обжатии заготовки с диаметра $d_3 = 24$ мм до $d_n = 22$ мм наибольший катающий радиус составил $R_k = 192$ мм, а соответствующий ему угол захвата $\alpha_k = 6,82^\circ$. До полного контакта рабочей части калибра с заготовкой (номинальный катающий радиус в точке m $R_m = 189$ мм, и соответствующий ему угол захвата $\alpha_m = 5,9^\circ$) продольная деформация (вытяжка) практически не происходила.

лись при раздавливании под нагрузкой 3,0...3,1 кг. Прочность гранул из охлажденных порошков составляла 2,8...3,0 кг.

На основании изложенного приняты технологические параметры гранулирования порошков сульфата аммония: влажность до 0,3...0,5 %, нагрев до 340...360 °С, прокатка полос плотностью 1,60...1,64 г/см³, дробление и отсев гранул.

Литература

1. Мурадов, Г. С. Получение гранулированных удобрений прессованием / Г. С. Мурадов, П. И. Шомин. – М.: Химия, 1985. – 209 с.
2. Классен, П. В. Гранулирование / П. В. Классен, И. Г. Гришаев, И. П. Шомин. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
3. Ложечников, Е. Б. Прокатка в порошковой металлургии / Е. Б. Ложечников. – М.: Металлургия, 1987. – 185 с.
4. Ложечников, Е. Б. Механика измельчения прокатываемых в толстом слое материалов / Е. Б. Ложечников, А. К. Гавриленя // Вестник БНТУ. – 2006. – № 6. – С. 16–21.

УДК 621.771

Прокатка в четырехвалковом калибре по схеме «круг-круг»

Ложечников Е. Б., Кудин М. В.

Белорусский национальный технический университет

Изготовленные непрерывным литьем прутки латуни обладают характерной для такого способа производства макроструктурой с явно выраженными радиально ориентированными столбчатыми зернами [1]. При этом вследствие неравномерной по сечению кристаллизации, что может быть объяснено горизонтальным направлением движения образующегося в охлаждаемой полости кристаллизатора прутка, центр схождения столбчатых кристаллов смещен относительно геометрической оси прутков. Поверхность прутков загрязнена продуктами износа графитового кристаллизатора, а также встречаются открытые поверхностные макродефекты.

Для повышения прочности и твердости прутков, в значительной части используемых для изготовления газовой аппаратуры, а так же завальцовывания поверхностных дефектов и вы-

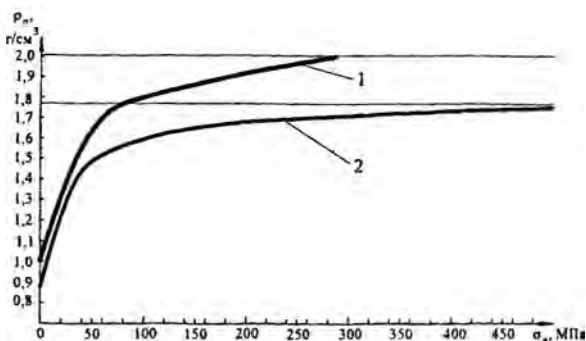
623 К. В исследуемом порошке массовая доля фракции менее 0,25 мм составляла 19 %. Значительную часть дисперсной порошковой массы представляли полупрозрачные монолитные зерна с размерами до 2 мм.

Цель проведенных экспериментов – установить зависимость плотности и прочности брикетов (цилиндрических образцов) от давления прессования порошков сульфата аммония разной влажности и температуры. Исходные, в состоянии поставки порошки влажностью 0,16-0,3 % выдерживали в течение четырех часов в сушильном шкафу при температуре 340 К и увлажняли до 2 % содержания воды.

Результаты экспериментов по прессованию и разрушению образцов разной влажности показывают, что влажность порошков не оказывает существенного влияния на плотность и прочность спрессованных образцов. Следует отметить, что прочность спрессованных образцов до близкой к пикнометрической плотности сравнительно низкая, что не позволяет ожидать требуемую прочность и стабильность по слеживанию гранулята. Об этом свидетельствуют результаты испытания гранул, полученных дроблением прокатанных полос толщиной 6...7 мм, плотностью 1,68...1,74 г/см³. Статическая прочность при раздавливании гранул не превысила 2,6 кг при минимально допустимой 3 кг. Так же следует отметить, что в спрессованных образцах сульфата аммония сохранились крупные зерна исходного порошка, в то время как в прокатанной полосе эти зерна были разрушены, что объясняется разными условиями процесса их обработки [4].

Для установления влияния теплового режима прессования и прокатки на плотность и прочность образцов проведены эксперименты прессования порошков, охлажденных до температуры 260К (-10 °С) и нагретых до 340-350 К. Образцы диаметром 10 мм прессовали давлением 318 МПа, диаметром 30 мм – 200 МПа. Прокатку проводили при неизменных растворе валков и скорости, аналогичной предыдущим экспериментам. Спрессованные образцы диаметром 10 мм имели плотность 1,71-1,75 г/см³, диаметром 30 мм охлажденные – 1,69 г/см³, нагретые – 1,72 г/см³. Гранулы размером 3-4 мм, полученные в результате дробления прокатанных из нагретых порошков полос, разруша-

давлением до 76,4 МПа, и уменьшение прочности более плотных брикетов.



1– KCl; 2– (NH₄)₂SO₄

Рисунок 1 – Диаграмма прессования порошков KCl и (NH₄)₂SO₄

Для проведения экспериментов по прокатке порошка KCl в исходном состоянии и пыли, образующейся при дроблении полос (менее 0,5мм), использовали прокатный стан СПП-2 [3] с диаметром бочки 600 мм. Нагретый до 430 К порошок загружали в установленный на вращающиеся с частотой 5 об/мин валки бункер (скорость прокатки 0,157 м/с). В результате прокатки получены полосы толщиной 5,6...6,2 мм, плотностью 1,83...1,86 г/см³ не зависимо от того, прокатывали порошок или отсев пыли (менее 0,5мм). Большая плотность достигалась при уменьшении раствора валков (толщины проката). Плотность полученного проката соответствует давлению прессования брикетов 110...120 МПа, что согласуется с приведенными в [1] данными. Более высокая плотность прокатанных полос по сравнению с получаемыми РУП «Производственное объединение «Беларуськалий» достигнута за счет меньшей скорости прокатки, а следовательно уменьшения отрицательного влияния выдавливаемого из очага уплотнения и деформации воздуха, встречный поток которого задерживает поступление в валки порошка.

Сульфат аммония (NH₄)₂SO₄ относится к первой группе порошков минеральных удобрений (высокопластичные). Его пикнометрическая плотность 1,77 кг/см³, температура разложения

Исследуемые порошки прокатывали в валках диаметром 600 мм (на стане СПП-2) в полосы, плотность которых соответствовала прессованным брикетам с наилучшими показателями прочности [3].

Хлорид калия (KCl) относится к третьей малопластичной группе минеральных удобрений. Его пикнометрическая плотность $2,0...2,05 \text{ т/м}^3$ ($2,0...2,05 \text{ г/см}^3$), температура плавления 1041 К. Давление его уплотнения при прокатке в производстве гранул составляет 400-450 МПа. Прокатку производят в валках диаметром 900-1000 мм с длиной бочки до 1250 мм. Скорость прокатки $0,8...1,2 \text{ м/с}$. Для улучшения технологических свойств в порошок перед прокаткой вводят пластифицирующие присадки (карбонид, сульфаты и др.).

Для установления технологических возможностей гранулирования хлорида калия проведены опыты их прессования в прессформах диаметром 10 мм при температуре 380-390 К. Скорость прессующего пуансона по мере уплотнения уменьшалась с 30 до $3...5 \text{ м/с}$. Прессованию подвергали порошок без пластифицирующих присадок. Диаграмма прессования (Рис. 1) показывает, что при давлении 283 МПа достигнута пикнометрическая плотность хлорида калия ($2,05 \text{ г/см}^3$). У лучших для гранулирования образцах проката (по данным РУП «Производственное объединение «Беларуськалий») плотность составляет $1,77...1,82 \text{ г/см}^3$, что соответствует давлению прессования 110...120 МПа. Давление разрушение при осадке прессованных брикетов после двух суток выдержки составило $0,4...0,5$ давления прессования.

Увлажнение порошка до 1,5 % не оказывает существенного влияния на его прессуемость и зависимость прочности от давления прессования и их плотности. Повышение давления прессования до 191 МПа хотя и привело к повышению плотности брикетов до $1,97 \text{ г/см}^3$, но привело к снижению их прочности.

Прессуемость увлажненного до 3 % порошка незначительно отличается от прессуемости сухого и с 1,5 % влажностью. Следует отметить, что начиная с давления 101,9 МПа и выше у выпрессованных из прессформы брикетов с 3,0 % влажностью на торцах выходит влага, в дальнейшем впитываемая брикетом. Следует отметить, что повышенное влагосодержание обеспечивает более высокую прочность брикетов, спрессованных под

Порошковая металлургия, сварка и обработка материалов давлением

УДК 621.762

Гранулирование минеральных удобрений прокаткой

Ложечников Е. Б., Гавриленя А. К., Щерба В. Я., Китун А. А.
Белорусский национальный технический университет,
ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с
опытным производством»

Минеральные удобрения используются в гранулированном виде. Полученный после флотационной очистки и выпаривания-кристаллизации порошок с размером частиц от 1 до 0,1 мм и менее не пригоден для длительного хранения, транспортировки и использования. Из-за высокой поверхностной активности оно быстро слеживается и теряет сыпучесть, что затрудняет внесение его в почву. Наличие в порошковом удобрении высокодисперсной фракции не допустимо и по условиям пыления с выносом за пределы обрабатываемых площадей, быстрого растворения и уноса в грунтовые воды и водоемы.

Наиболее распространена технология гранулирования минеральных удобрений, основанная на их уплотнении в полосы прокаткой с последующим дроблением полос в гранулы и отделением их от крупной и мелкой фракций. Крупную фракцию домальвают, а мелкую – возвращают в смеси с исходным порошком на повторное уплотнение прокаткой [1,2].

Представляются актуальными постоянно проводимые исследования, направленные на повышение качества гранулированных удобрений, определяемого прочностью, а следовательно и стабильности гранул при увеличении выхода их требуемого (3-4 мм) размера.

Для оценки влияния режима обработки давлением на плотность и прочность брикетов и прокатанных полос проведены эксперименты по прессованию исходного порошка хлорида калия и его пылевых отходов в брикеты, которые затем подвергали разрушению нагружением в направлении оси брикетов.

получения металлических пен. Вспененные материалы, полученные из отходов цветных сплавов или металлов, могут использоваться в изделиях неответственного назначения или не несущих значительных конструкционных нагрузок (например, бампера, наполнители и т.п.)

Главной особенностью вспененных материалов является их высокая пористость при хорошей демпфирующей способности, которая превосходит такие природные материалы как древесина и кость. Металлические пены, несмотря на низкую плотность ($0,1-0,8 \text{ г/см}^3$), характеризуются достаточно высокими прочностными свойствами и жесткостью [6]. Однако, до настоящего времени их широкое использование ограничено как вследствие консервативности применяемых технологий, так и отсутствием изделий, специально разработанных с применением вспененных металлических материалов.

Литература

1. Немененок, Б. М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов / Б. М. Немененок. – Мн.: Технопринт, 1999. – 272 с.
2. Dr.-Ing. K. Krone. Aluminium – recycling (Vom Vorstoff bis zum fertigen Legierung). VDS, e.V. Dusseldorf, 2000. – 707 с.
3. Калиниченко, В. А. Возможные варианты применения в литейном производстве алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа / В. А. Калиниченко, Б. М. Неменёнок, Г. В. Довнар // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., 22–23 апреля 2004. – Т. 1. – С. 168
4. Калиниченко, А. С. Снижение негативного влияния повышенного содержания железа в алюминиевых сплавах / А. С. Калиниченко, Б. М. Неменёнок, В. А. Калиниченко // Литейное производство. – 2004. – № 3. – С. 21–22
5. Bergmann H. W., Nemenjonok B. M., Kalinichenko A. S. et al. Complex grain refining of Al-Si alloys with a high Fe content // Aluminium. – 1996. – V. 72, № 5. – P. 354–356.
6. Калиниченко, В. А., Способы получения вспененного алюминия, области его применения и ряд особенностей механической обработки / В. А. Калиниченко А. С. Калиниченко // Литьё и металлургия. – 2005. – Ч. 1. – № 2. – С. 164–169.

молибденом и дополнительной обработкой расплава элементами VI группы – серой, селеном и теллуром [5]. Такой эффект был обнаружен на силумине (9,7%Si, 1,8%Fe), выплавленном из алюминия марки А 999, полупроводникового кремния и карбонильного железа. Характерные микроструктуры приведены на рисунке 2.

Модифицирование железосодержащей фазы серой или теллуром при соотношении %Fe : %Mn = 2 : 1 способствует увеличению количества фазы с гексагональной решеткой и сопровождается некоторым изменением ее параметра, а включения приближаются к правильным многогранникам. При этом добавки серы и теллура концентрируются в компактных включениях β_n -фазы.

Эффективным способом изменения морфологии кристаллизующихся фаз является затверждение их в резко неравновесных условиях [6]. При этом создаются условия для измельчения зерна, значительного расширения растворимости в твердом состоянии, подавления роста грубых включений первичных интерметаллидов. Поэтому представляет интерес использовать процесс затверждения при неравновесных условиях для устранения формирования грубых первичных железосодержащих фаз. Причем, если обеспечить мелкодисперсное формирование железосодержащих фаз, то они смогут выступать в качестве упрочняющей фазы.

Благодаря высокой скорости охлаждения из жидкого состояния перед кристаллизацией капля расплава путем закалки в воду, либо на быстровращающемся охлаждаемом валке железо остаётся в пересыщенном твёрдом растворе и не образует интерметаллических соединений. Полученные гранулы или металлические ленты можно использовать для получения изделий методами экструзии, лигатур для получения специальных сплавов (жаропрочные, износостойкие и др.) или в качестве дробы для очистки алюминиевых отливок от остатков формовочной и стержневой смеси. Замена чугунной или стальной дробы на алюминиевые гранулы способствует повышению коррозионной стойкости алюминиевых изделий, особенно в условиях морского климата.

Несомненный интерес представляют и вопросы использования алюминиевых вторичных сплавов и отходов для

диффузии ряда легирующих элементов таких как Si, Mg, Cu и т.д., компактирования частиц для нужд и процессов порошковой металлургии.

Исходя из этого роль железа в алюминиевых сплавах можно представить как [3]:

1. как вредное влияние по ГОСТ 1583 –89 «Сплавы алюминиевые литейные» из 38 перечисленных сплавов содержание железа колеблется от 0,05% (для АМгблч) до 1,4% (для Ак8М3) Как меры борьбы с нежелательными примесями используются: а). Разбавление (при наличии чистого алюминия), б) Фильтрация, в) центрифугирование, г) модифицирование

2. Полезное влияние железа в алюминиевых сплавах: а) жаропрочные, износостойкие и др. сплавы, б) раскисление сталей и сплавов, в) изготовление литых модификаторов при высокой скорости затвердевания (для изменения размера зерна, уменьшения внутренней диффузии ряда легирующих элементов таких как Si, Mg, Cu и т.д.), г) производство сплавов особого назначения, д) компактирование частиц для нужд и процессов порошковой металлургии

В силуминах железо образует соединения различного состава ($FeAl_3$, Al_3SiFe , Al_4Si_2Fe и др.), которые при затвердевании имеют грубокристаллическое строение и поэтому значительно снижают механические свойства отливок, особенно пластичности. При содержании железа свыше 0,8 % формируются первичные кристаллы Al_3SiFe и $FeAl_3$ [4].

Нейтрализовать в определенной мере негативное влияние железа на механические свойства силуминов возможно за счет введения элементов-компенсаторов, подавляющих образование включений иглообразной фазы (Al_9SiFe). К таким элементам относится марганец, образующий в силуминах с железом фазу $\beta Al_{15}Si_2(FeMn)_3$, которая ослабляет эффект охрупчивания. Однако при суммарном превышении марганца и железа 0,8% могут появиться первичные кристаллы фазы $Al_{15}Si_2(FeMn)_3$, которые заметно ухудшают обрабатываемость отливок резанием. В качестве компенсаторов могут применяться хром, ванадий, никель и другие подобные элементы [1].

Установлено, что измельчение железосодержащих фаз наблюдается после легирования расплава марганцем, хромом,

УДК 621.74

**Алюминиевые сплавы с повышенным содержанием железа
и возможные области их использования**

Немененок Б. М., Калиниченко В. А.

Белорусский национальный технический университет

Силумины наиболее распространены среди алюминиевых сплавов в литейном производстве. Применительно к алюминиевым сплавам, выплавляемым из лома и отходов, наиболее остро стоит проблема нейтрализации вредного влияния железа, содержание которого в чушках составляет 1,1-1,3%. В процессе плавки алюминиевых сплавов в широко применяемых чугунных тиглях содержание железа может увеличиваться до 2,5% и даже выше [1]. Накоплению железа способствует и использование алюминиевого лома, особенно содержащего стальные вкладыши и не удаленные перед плавкой элементы крепления. Легирование алюминия и его сплавов железом, а так же переработка железосодержащих отходов (лома), в значительной мере ограничивается неспособностью алюминия образовывать в широком интервале твёрдые растворы, что приводит к появлению в структуре интерметаллических соединений в виде грубых включений.

По статистическим данным VDS (Германия) в 1998 году немецкой промышленностью потреблялось 612 381 тонн первичного и 453 328 тонн вторичного алюминия, по сравнению с 730 700 тоннами первичного и 405 100 тоннами вторичного алюминия на 1980 год [2]. При таком количестве вторичных металлов и сплавов необходимо разрабатывать и применять новые технологии и возможности использования вторичных сплавов обогащённых примесями, в том числе и железом. Однако кроме отрицательного воздействия на алюминиевые сплавы, нельзя не отметить и положительную роль железа особенно для специального применения и (или) специальных процессов обработки. В качестве полезного влияние железа в алюминиевых сплавах можно указать производство жаропрочных, износостойкие и др. сплавов со специальными свойствами, применения для раскисления сталей, изготовления литых модификаторов (при высокой скорости затвердевания) для изменения размера зерна, уменьшения внутренней

При изготовлении поршней «днищем вверх» металл обычно подводят в полость формы через короткий наклонный литник, что способствует снижению температуры заливки, но требуется более тщательное рафинирование расплава и при этом большое внимание должно уделяться геометрии и размерам стояка и питателя. В этом случае используются верхняя центральная или кольцевая прибыль. Такая технология широко используется на территории СНГ и дальнего зарубежья при изготовлении поршней с упрочняющей вставкой в зоне верхнего поршневого кольца.

Для плавного заполнения формы заливка ее производится в наклонном на $30\text{--}40^\circ$ состоянии, а возврат в вертикальное положение осуществляется после заполнения кокиля на $2/3\text{--}3/4$ по объему, когда расплав начинает закрывать упрочняющее кольцо. Кокиль выполняется массивным, однако нижние части полуформ могут иметь сверления для охлаждающей воды. Металлические стержни, как и при литье «днищем вниз» охлаждаются проточной водой.

Для производства литых поршней дизельных двигателей разработаны одно- и многопозиционные кокильные машины, у которых все операции по сборке и разборке кокиля, протяжке и простановке стержней, съему отливок механизированы. При изготовлении поршней с терморегулирующими вставками разработаны устройства для автоматической простановки их в кокиль. На других кокильных машинах для производства поршней механизация заливки еще не решена, как и простановка в кокиль нирезистовых упрочняющих вставок после алитирования.

Производительность кокильных машин зависит от числа позиций и количества кокилей на каждой позиции, от технологии и массы поршня, и составляет для однопозиционных машин при изготовлении поршней диаметром $100\text{--}140$ мм без упрочняющих вставок $10\text{--}20$ отливок в час. Один рабочий в состоянии обслуживать одну многопозиционную машину или две-четыре однопозиционные, если поршни не имеют упрочняющих вставок. При литье поршней с нирезистовыми вставками на такое же количество оборудования требуется двое рабочих.

часовой горячей твердости. Улучшение жаропрочных свойств сплавов, закристаллизованных под давлением, объясняется устранением макродефектов отливки, увеличением легированности твердого раствора Si и Cu (растворимость которых при затвердевании под давлением возрастает), а также изменениями структуры сплава. При этом наблюдается также повышение усталостной прочности при комнатной температуре и в интервале температур эксплуатации поршней, что связано с устранением или существенным уменьшением микропористости, которая является очагом зарождения усталостных трещин.

Несмотря на то, что технология литья поршней в кокиль достаточно хорошо отработана, брак при их производстве остается высоким и составляет 6...8 %. Далеко не всегда удовлетворяет потребителя и стойкость поршней при их эксплуатации. Литьем в кокиль поршни для дизельных двигателей получают по двум принципиально отличающимся технологиям, характеризующимся расположением отливки в форме: «днищем вниз» и «днищем вверх». Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки.

При изготовлении отливок по первой технологии днище поршня, испытывающее при эксплуатации высокие механические и термические нагрузки, имеет мелкозернистую структуру и повышенные механические свойства, а литниково-прибыльную систему отливки можно обрубать на прессе. Однако в связи с расположением наиболее массивных частей отливки внизу питание их затруднено, поэтому требуется тщательная доводка всей литниково-питающей системы и теплового режима кокиля. В этом случае используется извилистая система типа «гусиная шейка» или карандашная с одной или двумя боковыми прибылями. Для получения плотной структуры массивных зон отливки, оформляющие части кокиля (поддон; полуформы; стержни; формирующие отверстия под пальцы; центральный моноклиновый стержень) охлаждаются проточной водой, проходящей по специальным каналам или полостям, а части многоклинового стержня охлаждаются перед простановкой в форму в водографитовой суспензии. В связи с большой протяженностью литниковой системы требуется повышенная температура расплава при заливке.

Кроме жаропрочности поршневые сплавы должны удовлетворять еще целому ряду требований, что иногда приводит к принятию компромиссных решений в отношении химического состава. Поэтому в большинстве случаев используются сплавы сложного химического состава на основе системы алюминий—кремний.

В настоящее время поршни из алюминиевых сплавов изготавливают литьем в кокиль с использованием литейных поршневых сплавов, горячей штамповкой деформируемых сплавов, жидкой штамповкой, литьем под низким давлением, изотермическим прессованием и литьем с кристаллизацией под давлением.

Литье в кокиль – наиболее простой технологический процесс, использующий поршневые сплавы с низким коэффициентом линейного расширения и позволяющий получить отливки сложной конфигурации (с поднутрениями). Однако кокильные поршневые заготовки имеют два существенных недостатка – невысокое качество заготовок (пористость в массивных частях) и низкий коэффициент использования металла.

Заготовки, полученные горячей штамповкой деформируемых сплавов, как правило, из АК4-1, отличаются высоким качеством, но по сравнению с литейными имеют на 15...20 % более высокие значения коэффициента линейного расширения, а коэффициент использования металла при горячей штамповке еще меньше, чем при литье в кокиль.

Жидкая штамповка поршней сочетает достоинства обоих этих способов - обеспечивает высокое качество заготовок аналогично горячештампованным и позволяет использовать литейные поршневые сплавы, а также жаропрочные сплавы с низкой жидкотекучестью при относительной простоте способа изготовления. Коэффициент использования металла жидкоштампованных поршней и их эксплуатационные свойства значительно выше, чем у кокильных заготовок.

Переход от литья в кокиль к кристаллизации под давлением 100...200 МПа повышает σ_b поршневых алюминиевых сплавов на 10...20 %, твердость на 5...15 % и относительное удлинение в 1,5...3 раза. Наложение давления на затвердевающий металл приводит также к росту кратковременной жаропрочности и

**Тенденции развития производства поршней
из алюминиевых сплавов**

Немененок Б. М.

Белорусский национальный технический университет

Развитие народного хозяйства стран СНГ требует повышения надежности и увеличения ресурса работы двигателей большегрузных грузовых автомобилей типа МАЗ, КраЗ, УралАЗ, БелАЗ, КамАЗ; тракторов «Кировец», «Беларус»; комбайнов «Нива», «Полесье» и др. С 1920 по 2000 годы удельная мощность двигателей возросла в 7 раз, а для двигателей с турбонаддувом в 10 раз и достигла более 80кВт/л и это наращивание мощности продолжается.

Создание новых конструкций двигателей и форсирование режимов существующих осуществляется на базе широкого применения турбонаддува и использования алюминиевых поршней с выполненными в них камерами сгорания, что существенно повышает тепловые и динамические нагрузки на большинство деталей и, в первую очередь, на поршни, которые лимитируют долговечность двигателя в целом. Одной из причин выхода из строя поршней является образование трещин термической усталости на кромках камеры сгорания, которая подвергается большим динамическим и термическим воздействиям.

Поршень представляет собой достаточно сложную в отношении конструкции, технологии и материалов деталь двигателя, фактически определяющую его технический уровень. Основные функции, выполняемые поршнем – уплотнение внутрицилиндрового пространства с помощью днища и канавок с поршневыми кольцами и передача сил давления в цилиндре на кривошипно-шатунный механизм. На поршни в различных двигателях действуют знакопеременные нагрузки при постоянном их контакте с агрессивными жидкими и газовыми средами. В некоторых случаях нагрузки достигают 100—180 МН, а температура пламени повышается до 800 °С. Например, средняя температура на днище поршня у тракторных двигателей возрастает с 200—220 °С до 300—350 °С, а воспринимаемая поршнем нагрузка увеличивается с 50—55 МПа до 70—75 МПа.

возможность перерабатывать стружку без надобности использования солевых флюсов, как это делается при роторной технологии плавки. Эта система обладает двумя основными функциями. Во-первых, она циркулирует жидкий металл в печи при помощи электромагнитного насоса, и, во-вторых, она позволяет загружать стружку в специальный колодец, предотвращающий прямой контакт с пламенем. Это способствует высокой степени восстановления алюминия, благодаря подповерхностному течению жидкого металла и отсутствию, практически, колебаний температур в главной камере печи. Благодаря отсутствию движущихся механизмов ЕМР система очень надёжна. Положительные качества ЕМР системы:

1. Значительное увеличение металлургического выхода металла из мелкого лома, такого как стружка и фольга благодаря быстрому замешиванию лома в расплавленный алюминий.

2. Улучшенная химическая однородность – благодаря высокому уровню циркуляции химическая однородность сплава достигается очень быстро.

3. Однородность температуры в металлической ванне – ЕМР циркулирует расплавленный металл с высокой скоростью (до 10 тонн в минуту).

4. Увеличение производительности – сокращённый по времени цикл плавки увеличивает производительность более чем на 25% (в зависимости от установки) по сравнению со статическим вариантом.

Возможность введения легирующих добавок, например, Si, Cu, Mg, Mn, Fe и Ti через загрузочный колодец, обеспечивающий быстрое перемешивание и, следовательно, более быстрое достижение однородности сплава, чем при использовании обычных технологий.

внутренних стенках (для канальной), расход энергии 750-800 кВт·ч/т.

По данным РПУП "Белцветмет" в 2006 году в Республике Беларусь образовалось 2600 тонн алюминиевой стружки. Существующие в Республике технологии позволяют обеспечить металлургический выход металла порядка 70 %. Так же имеются экспериментальные данные, что при введении операции прессования стружки и последующего передела брикета металлургический выход можно повысить до 80 %. Однако из-за введения дополнительной операции экономический эффект от повышения металлургического выхода не велик. Так же в Республике Беларусь отсутствует должная подготовка стружки к плавке, что приводит к получению не марочных, а низкосортных сплавов типа АВ-87, от чего экономический эффект лучше не становится. В целях изучения иностранного опыта по переработке лома и стружки цветных металлов был произведен анализ производства на Мценском заводе вторичных алюминиевых сплавов – крупнейшем в бывшем СССР, а так же на Российской промышленной компания "Втормет" – одной из крупнейших переработчиков вторичного алюминиевого сырья в России. Следует отметить, что там большое внимание уделяется подготовке стружки к плавке, а именно: предварительная сушка в барабанном сушиле (для сушки используется тепло отходящих от печи газов) и несколько этапов магнитной сепарации для удаления включения чёрных сплавов. Плавка ведётся в 20 тонной двухкамерной газовой печи, причём используется специальный метод загрузки стружки в печь, в процессе которого алюминиевая стружка специальным устройством "топится" под зеркало металла. Комплекс этих мероприятий позволяет получать качественные марочные сплавы типа АК9, АК5М2 с металлургическим выходом не менее 80 %.

Однако наиболее прогрессивная технология принадлежит английской фирме "EMP Technologies Ltd". В разработках этой фирмы при схожей с российской технологии подготовки сырья для подачи стружки под зеркало металла используются новые магнитогидродинамические технологии, позволяющие обеспечить металлургический выход не менее 90%. Эта технология была разработана с целью предоставить

являются двухкамерные печи противоточного типа. Стружку загружают на предварительно наплавленную из более крупной шихты жидкую ванну металла и вмешивают её в металл мульдозавалочной машиной. Единовременная загрузка стружки в количестве до 30 % от массы жидкой ванны. Недостаток – сравнительно низкий тепловой КПД (~25%), относительно высокие безвозвратные потери металла, низкая технологичность загрузки, загрязненность отходящих газов пылевидной фракцией (хлориды, оксиды). В последнее время для плавки сыпучих материалов (стружки) начали применять отражательные печи с выносной открытой камерой. В таких печах отапливается только закрытая камера. Разность температур в камерах обеспечивает самопроизвольную циркуляцию расплава (циркуляция может быть принудительной). Загружаемое в открытую камеру сырьё плавится за счёт теплоты, аккумулируемой расплавом в плавильной камере, что исключает его контакт с топочными газами и резко снижает угар металла.

Короткобарабанные вращающиеся печи. Используют в основном для плавки стружки и других мелких материалов. Ёмкость – от 0,5 до 20 тонн, скорость вращения 1...8 об/мин, отапливают газом или мазутом. Загрузку производят через отверстие в одном из торцов печи. Преимущества – невысокий угар металла, (металлургический выход ~ 75 %), возможность вести нагрев плавильной камеры в форсированном режиме, возможность рафинирования металла за счёт эффективного перемешивания расплава. Недостатки – быстрый износ футеровки, низкая технологичность процесса загрузки, не полное исключение контакта стружки с топочными газами.

Электрические печи. На территории СНГ заводы по переработке вторичного алюминиевого сырья применяют тигельные индукционные электрические печи промышленной частоты. За рубежом используют так же и каналные индукционные печи. Преимущества – невысокие потери металла на угар (~2-3%), возможность плавки без флюса, высокий тепловой КПД (~70%) и производительность, активное перемешивание металла. Недостатки – необходимость наличия в тигле остатка металла от предыдущей плавки, зарастание каналов вследствие осаждения оксидов алюминия на их

Литейное производство черных и цветных металлов

УДК 669.714.2

Анализ плавильного оборудования и технологий для переработки алюминиевой стружки и шлаков

Немененок Б. М., Трибушевский Л. В.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь получило широкое развитие производство отливок из алюминиевых сплавов в постоянные формы. Отсутствие собственной сырьевой базы для получения алюминия и его сплавов выдвигает на первый план проблему наиболее рационального использования промышленных отходов алюминиевых сплавов. Алюминиевая стружка, поступающая на переплав, занимает ~ 40% всех промышленных отходов и составляет ~ 2500 тонн в год. К настоящему времени собственное производство по переработке стружки имеется только в цехе алюминиевого литья Минского моторного завода, а остальные предприятия поставляют стружку на склад Белцветмета, откуда она и попадает на дальнейшую переработку.

Для плавки алюминиевой стружки применяются пламенные отражательные, вращающиеся короткобарабанные и электрические индукционные печи. При выборе печи большое значение имеет ёмкость печи, которая должна соответствовать объёмам производства, гарантирующего бесперебойную работу агрегата, а так же способы обогрева. Особое внимание уделяется стоимости источников энергии в районе строительства цеха (завода).

Наибольшее распространение во вторичной металлургии алюминия имеют отражательные печи, отапливаемые жидким или газообразным топливом, а так же их смесью. Они характеризуются достаточно высокой производительностью, простотой конструкции печи и её технологической универсальностью и сравнительно небольшими эксплуатационными затратами. Наиболее совершенными из них

свойств материала и переменности условий теплообмена, размеров и плотности лома и т.д. Разработан алгоритм решения представленной математической модели с помощью «метода эквивалентных источников».

Разработанная методика может быть использована для оценки времени плавления кускового лома, горячепрессованных брикетов в электродуговых печах, для разработки теплотехнологических режимов работы действующих печных агрегатов в зависимости от используемого материала, его размеров и плотности, для определения скорости подачи в печь металлургических окатышей и т.д.

Литература

1. Лыков, А. В. Методы решения нелинейных уравнений нестационарной теплопроводности / А. В. Лыков // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1971. – № 5. – С. 109–150.
2. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высш. школа, 1967. – 599 с.
3. Невский, А. С. Дифференциальные уравнения процесса плавления шихты со стеканием и намерзанием расплава / А. С. Невский // Сб. научн. тр. ВНИИМТ. – М.: Metallurgizdat, 1963. – № 3. – С. 150–157.
4. Постольник, Ю. С. Расчет динамики плавления тел различной формы / Ю. С. Постольник // Сб. научн. тр. МИСиС: Тепло- и массообмен в ваннах сталеплавильных агрегатов. – М.: Metallургия, 1979. – № 120. – С. 59–62.
5. Постольник, Ю. С. Металургійна термомеханіка / Ю. С. Постольник, А. П. Огурцов. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2002. – 633 с.
6. Тимошпольский, В. И. Теоретические основы теплофизики и термомеханики в металлургии / В. И. Тимошпольский, Ю. С. Постольник, Д. Н. Андрианов. – Мн.: Бел. навука, 2005. – 560 с.
7. Тимошпольский, В. И. Усовершенствование методик расчета процессов плавления материалов на основе метода мгновенного регулярного режима / В. И. Тимошпольский, В. М. Ольшанский, Н. П. Свинолобов // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. – № 3 – С.49–56.
8. Глинков, М. А. Общая теория печей / М. А. Глинков, Г. М. Глинков. – М.: Metallургия, 1978. – 266 с.

– увеличение теплоемкости замедляет процессы прогрев-нагрев-плавление;

– увеличение теплопроводности ($\epsilon_\lambda > 0$) ускоряет процессы прогрева (продвижение теплового потока) и плавления (продвижение изотермы $T = T_\phi$) и замедляет процесс нагрева до $T_n = T_\phi$;

– уменьшение теплопроводности ($\epsilon_\lambda < 0$) тормозит протекание процессов прогрева и плавления и сокращает стадию нагрева поверхности до точки плавления.

С помощью представленной методики был осуществлен расчет времени плавления брикетов стали ШХ15 различного типоразмера. Зависимость времени плавления от условий теплообмена приведена на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2 увеличение коэффициента теплоотдачи α более 5000 Вт/(м²К) - нецелесообразно, так как это не приводит к существенному сокращению продолжительности плавления.

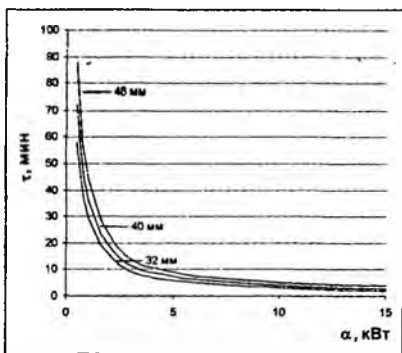


Рисунок 2. Зависимость времени плавления от условий теплообмена

Расчет удельной продолжительности каждого этапа процесса плавления показал, что при малой интенсивности теплообмена в общем времени t_ϕ преобладает доля предварительного нагрева, а при больших коэффициентах теплоотдачи α_k — преобладает доля непосредственного плавления.

Выводы: Предложена нелинейная математическая модель расчета времени плавления и температурных полей в процессе расплавления металла с учетом нелинейности теплофизических

начала плавления. Учитывая (12), приходим при $\theta_n^0 \leq 1$ к неравенству

$$\text{Bi}K_T \leq 2 + \varepsilon_\lambda. \quad (14)$$

Это условие практически всегда выполняется. Например, для стального среднеуглеродистого лома предельная толщина пластины, при которой будет соблюдаться условие (14), равна $H = 2h = 1,56$ м, что явно превышает размеры кусков шихты.

Анализ влияния переменности теплофизических свойств. С использованием полученного решения (7)...(13) выполнен анализ влияния теплофизических характеристик на продолжительность процесса плавления лома.

Формула (7) показывает, что время τ_0 прогрева с ростом теплоемкости ($\varepsilon_c > 0$) увеличивается, т.е. скорость распространения тепла уменьшается. Если же возрастает теплопроводность ($\varepsilon_\lambda > 0$), скорость продвижения теплового возмущения вглубь тела возрастает, и время прогрева уменьшается. Таким образом, в этом случае совместное влияние обоих параметров нелинейности (ε_c и ε_λ) может оказаться мало существенным (например, при $\varepsilon_c \approx \varepsilon_\lambda$ оно вообще будет пренебрежимо мало), что позволяет пренебречь переменностью теплофизических свойств.

Третье слагаемое δ_{ϕ_3} (11) в общем виде проанализировать довольно сложно. Можно утверждать лишь то, что во всех случаях переменной теплофизики (5) (за исключением маловероятного варианта $\varepsilon_c > \varepsilon_\lambda > 0$) учет члена δ_{ϕ_3} (11) приведет к увеличению расчетного времени τ_ϕ^0 .

Формула (13) определяет продолжительность непосредственно плавления тела (от начала τ_ϕ^0 до конца τ_ϕ). Это уже касается времени продвижения изотермы $T = T_\phi$ ($\theta_\phi = 1$) от начала ($\beta_3 = 1$) до конца ($\beta_3 = 0$). Простота выражения (13) четко указывает, что увеличение теплоемкости ($\varepsilon_c > 0$) тормозит процесс плавления, а изменение теплопроводности будет этому или способствовать ($\varepsilon_\lambda < 0$), или препятствовать ($\varepsilon_\lambda > 0$).

Таким образом, приведенные формулы (7)...(13) четко отражают общую закономерность влияния переменности теплофизических характеристик:

где T_0 , $T_\phi = T_{\text{ликв}}$, T_c – температуры: начальная, плавления и перегрева расплава, К; q_ϕ – скрытая теплота плавления, кДж/кг; α_c – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К); $a_0 = \lambda_0/(c_p \gamma)$ – коэффициент температуропроводности, м²/ч; γ – плотность, кг/м³; c_p – удельная теплоемкость, кДж/(кг·К); x – координата, м; $H = 2h$ – толщина пластины, м; t – время, ч; $B_j(\tau)$ – непрогретая ($j = 1$) или неоплавившаяся ($j = 3$) зона, м.

Подобная задача, но с граничными условиями не 3-го, а 2-го рода, была поставлена и решена [4] методом эквивалентных источников (МЭИ) Постольника. Позже это решение подробно изложено в работах [5...7].

Продолжительность процесса нагрев-плавление. Как известно (например, [8]), одним из основных критериев оценки работы плавильных печей является продолжительность процесса плавления. Опуская полное решение поставленной задачи (1)...(6), приведем лишь ту его часть, которой определяется время прогрева (τ_0), нагрева (τ_ϕ^0) и плавления (τ_ϕ) кусковых материалов

$$\tau_0 = [1 - 0,15(\varepsilon_\lambda - \varepsilon_c) \text{Bi}K_T] / 6; \quad (7)$$

$$\Delta\tau_\phi^0 = \tau_\phi^0 - \tau_0 = \frac{1 - \theta_n^0}{\text{Bi}K_T} \sum_{i=1}^3 \delta_{\phi i}, \quad (8)$$

где

$$\delta_{\phi 1} = 1 + \varepsilon_c \frac{1 + \theta_n^0}{2}; \quad (9)$$

$$\delta_{\phi 2} = \frac{\varepsilon_\lambda - \varepsilon_c}{3(1 + \varepsilon_\lambda)} \cdot \frac{\text{Bi}K_T}{(1 + \varepsilon_\lambda \theta_n^0)}; \quad (10)$$

$$\delta_{\phi 3} = \frac{\varepsilon_\lambda \varepsilon_c}{5(\varepsilon_\lambda - \varepsilon_c)} [2 + \varepsilon_\lambda (1 + \theta_n^0)] \delta_{\phi 2}^2; \quad (11)$$

$$\theta_n^0 = \frac{1}{\varepsilon_\lambda} (\sqrt{1 + \varepsilon_\lambda \text{Bi}K_T} - 1); \quad (12)$$

$$\Delta\tau_\phi = \frac{1}{3} \cdot \frac{1 + \varepsilon_c}{1 + \varepsilon_\lambda} \cdot \frac{\text{Ko}}{\text{Bi}K_T}. \quad (13)$$

Заметим, что при выводе формул (7)...(13) предполагалось, что $\tau_0 \leq \tau_\phi^0$, т.е. что инерционный этап закончится до

Математическая модель процесса состоит из уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left[(1 + \varepsilon_x \theta_j) \frac{\partial \theta_j}{\partial \xi} \right] = (1 + \varepsilon_x \theta_j) \frac{\partial \theta_j}{\partial \tau} \quad (1)$$

и краевых условий:

на стадии предварительного нагрева ($0 \leq \tau \leq \tau_\phi^0$), расчлененного (согласно модели термического слоя [1] рисунок 1) на инерционный этап ($j = 1, 0 \leq \tau \leq \tau_0; \beta_1(\tau) \leq \xi \leq 1$;
 $\theta_1(\xi, 0) \equiv \theta_0 = 0$)

$$\left. \begin{aligned} (1 + \varepsilon_x \theta_{1n}) \frac{\partial \theta_1}{\partial \xi} \Big|_{\xi=1} &= Bi[\theta_c - \theta_{1n}(\tau)]; \\ \theta_1(\xi, \tau) \Big|_{\xi=\beta_1(\tau)} &= 0; \quad \frac{\partial \theta_1}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\beta_1(\tau)} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

и упорядоченный этап ($j = 2, \tau_0 \leq \tau \leq \tau_\phi^0; 0 \leq \xi \leq 1$; $\theta_{1n}^0 = \theta_{1n}(\tau_0) \leq \theta_{2n}(\tau) \leq 1$)

$$\left. \begin{aligned} (1 + \varepsilon_x \theta_{2n}) \frac{\partial \theta_2}{\partial \xi} \Big|_{\xi=1} &= Bi[\theta_c - \theta_{2n}(\tau)]; \quad \frac{\partial \theta_2}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} = 0; \\ \theta_2(\xi, \tau_0) \Big|_{\xi=0} &= \theta_{2n}^0 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

на стадии плавления ($j = 3, \tau_\phi^0 \leq \tau \leq \tau_\phi; 0 \leq \xi \leq \beta_3(\tau); \theta_{3n} \equiv 1$)

$$(1 + \varepsilon_x) \frac{\partial \theta_3}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\beta_3(\tau)} = Bi K_T + Ko \beta_3(\tau); \quad \frac{\partial \theta_3}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} = 0. \quad (4)$$

Для учета термической чувствительности стали принимаем линейную зависимость теплофизических свойств от температуры

$$\lambda(T) = \lambda_0 + \delta_\lambda (T - T_0) = \lambda_0 (1 + \varepsilon_\lambda \theta); \quad \varepsilon_\lambda = \frac{\delta_\lambda}{\lambda_0} (T_\phi - T_0); \quad (5)$$

$$c(T) = c_0 + \delta_c (T - T_0) = c_0 (1 + \varepsilon_c \theta); \quad \varepsilon_c = \frac{\delta_c}{c_0} (T_\phi - T_0).$$

Здесь введены безразмерные величины

$$\left. \begin{aligned} \theta(\xi, \tau) &= \frac{T(\xi, \tau) - T_0}{T_\phi - T_0}; \quad \xi = \frac{x}{h}; \quad \beta_j(\tau) = \frac{B_j(\tau)}{h}; \quad \tau = \frac{a_0 t}{h^2}; \\ Bi &= \frac{\alpha_x h}{\lambda_0}; \quad Ko = \frac{q_\phi}{c_p^0 (T_\phi - T_0)}; \quad K_T = \frac{T_c - T_\phi}{T_\phi - T_0} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Методика расчета продолжительности расплавления кускового лома в расплаве жидкой стали

Тимошпольский В. И.*, Ратников П. Э.

НАНБ*, Белорусский национальный технический университет

Цель работы: С целью совершенствования теплотехнических режимов работы дуговых сталеплавильных печей разработать математическую модель плавления металлического лома, учитывающую зависимость теплофизических свойств материала от температуры, влияние условий теплообмена с течением времени, влияние оплавленного слоя на процесс плавления кускового лома и другие факторы, оказывающие значительное влияние на процесс плавления.

Математическая модель процесса плавления металла. В основу математической модели симметричного плавления термомассивного кускового лома с переменными теплофизическими характеристиками положена широко известная схема термического слоя [1], разбивающая процесс плавления на три этапа: 1) инерционный, когда температурные возмущения достигнут центра; 2) регулярный когда происходит нагрев тела по всему сечению; 3) период расплавления. Схема теплового пограничного слоя приведена на рисунке 1.

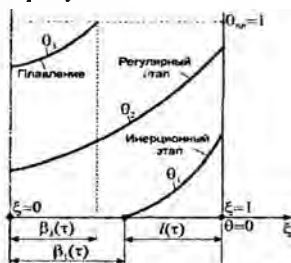


Рисунок 1. Схема теплового пограничного слоя при расплавлении металла

Предполагаем также, что расплав непрерывно удаляется с поверхности тела, растворяясь в общей массе жидкого металла. Такое предположение вводилось во многих работах ([2, 3] и др.).

Таким образом, при экспериментальном и компьютерном моделировании для насыпной плотности 2234 кг/м^3 (пористость 0,71) и средней толщине куска лома равной 10 мм, значение эффективного коэффициента теплопроводности изменялось в зависимости от температуры в пределах $1,7 \dots 17 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, что меньше коэффициента теплопроводности сплошного металла изменяющегося в пределах $50 \dots 29 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Выводы

В результате проделанной работы была определена качественная картина распространения тепла в шихтовых материалах в различных условиях их нагрева. Кроме того, была определена зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от пористости, размера пор и температуры. Для применяемых на производстве видов металлолома с насыпной плотностью изменяющейся в пределах $700 \dots 2800 \text{ кг/м}^3$ и толщинами кусков лома изменяющимися в пределах $50 \dots 400 \text{ мм}$, значения эффективного коэффициента теплопроводности будут изменяться в зависимости от температуры в пределах $0,8 \dots 500 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, что существенно меняет картину распространения тепла в сравнении со сплошным материалом.

Литература

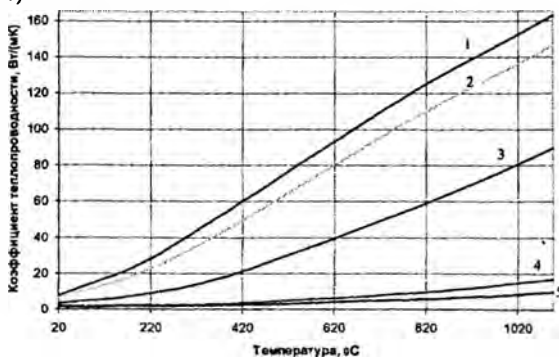
1. Теплотехнология металлургических мини-заводов / В. И. Тимошпольский [и др.]. – Мн.: Наука и техника, 1992. – 158 с.
2. Математическое моделирование теплофизических процессов при расплавлении шихты в дуговой сталеплавильной печи и внепечной доводке стали на агрегате ковш-печь / Болотов В.Ю. [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002/ – № 7. – С. 177–185.
3. Павлюкевич, Н. В. Введение в теорию тепло- и массопереноса в пористых средах / Н. В. Павлюкевич. – Мн.: Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАНБ. – 2002. – 140 с.

толщина кусков лома составила около 10 мм. Масса лома составила 37,7 кг, а насыпная плотность 2234 кг/м³.

Моделирование нагрева кускового материала в объеме колодца осуществляли при помощи разработанной программы, основанной на методе конечных элементов, причем теплофизические свойства, как лома, так и шамота определялись в зависимости от температуры в каждой точке расчетной области. Температура печи принималась изменяющейся во времени по показаниям контрольной термопары из эксперимента.

Сопоставление экспериментальных данных с результатами моделирования (решение уравнения теплопроводности с использованием формул (1) и (2) для коэффициента теплопроводности лома) показало, что для получения адекватных экспериментам результатов необходимо вводить предположение о количестве ориентированных к рассматриваемому направлению кусков материала, а эффективный коэффициент теплопроводности рассматривать как сумму коэффициентов полученных по формулам (1) и (2), в соответствующих пропорциях.

На рисунке 1 представлена зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от температуры для случая преимущественно горизонтального расположения кускового материала (90 %).



1 – $d=0,4$ м; 2 – $d=0,3$ м; 3 – $d=0,1$ м; 4 – $d=0,01$ м; 5 – $d=0,005$ м.

Рисунок 1 – Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности от температуры

где $\lambda_m(T)$ – коэффициент теплопроводности твердого металла в зависимости от температуры, Вт/(м·К); $\lambda_l(T)$ – эффективный коэффициент теплопроводности воздушных прослоек, Вт/(м·К); P – пористость объема металлошихты.

При параллельном расположении слоев к направлению распространения теплоты эффективный коэффициент теплопроводности можно определить по формуле (2):

$$\lambda_{\text{эфф}}(T, P) = \lambda_m(T) \cdot (1 - P) + \lambda_l(T) \cdot P, \quad (2)$$

Пористость можно определить, зная насыпную плотность металлошихты по формуле (3):

$$P = \frac{\rho_m - \rho_n}{\rho_m}, \quad (3)$$

где ρ_m – плотность металла, кг/м³; ρ_n – насыпная плотность металлошихты, кг/м³.

Коэффициент теплопроводности внутри воздушных прослоек (4) складывается из коэффициента теплопроводности воздуха внутри пор и эффективного коэффициента лучистой теплопроводности, рассмотренного например, в работе [3]:

$$\lambda_a(T) = \lambda_a(T) + \frac{32}{9} \sigma T^3 h = \lambda_a(T) + \frac{32}{9} \sigma T^3 \frac{P}{1 - P} d, \quad (4)$$

где $\lambda_a(T)$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К); σ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴); T – температура, К; h – размер пор, м; d – размер куска металла.

При вычислении размера пор в зависимости от пористости и размера куска необходимо учитывать ограничения, чтобы не получить физически неверных результатов.

Моделирование распространения тепла в металлошихте.

Для проверки адекватности приведенных выше зависимостей эффективного коэффициента теплопроводности от размера кусков, насыпной плотности и температуры было проведено моделирование различных случаев нагрева пористого материала. Для сопоставления результатов моделирования с результатами экспериментов был проведен нагрев стального лома в нагревательной печи камерного типа со сводовым отоплением, установленной в ИТМО НАНБ. Для обеспечения приближения одномерной задачи лом укладывали в колодец, сооруженный из шамотного кирпича и установленный на поду печи. Средняя

Металлургические технологии

УДК 536.2+669.1

Влияние геометрических и теплофизических параметров шихтовых материалов на скорость их нагрева

Тимошпольский В. И., Корнеев С. В.

Белорусский национальный технический университет

Основными параметрами, влияющими на значения коэффициентов переноса являются пористость, температура и распределение размеров структурных элементов. Если при определении объемной теплоемкости пористого материала, как правило, трудностей не возникает, так как она однозначно связана с насыпной плотностью материала, то при определении эффективного коэффициента теплопроводности возникает ряд особенностей. В данной работе исследовано влияние геометрических и теплофизических параметров шихты на скорость их нагрева на примере металлического лома, который является основным шихтовым материалом на многих металлургических производствах.

Коэффициент эффективной теплопроводности материала

Анализ методик расчета теплофизических характеристик показал, что существует два подхода при расчете эффективного коэффициента теплопроводности: без учета и с учетом переноса излучения внутри пористого объема. Первый подход справедлив в области низких температур (до 300 °С). Второй подход применен в работах [1, 2], при моделировании плавления металлошихты в дуговой сталеплавильной печи.

Рассмотрим определение коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры, пористости и различных толщин кусков материала без учета продувки слоя горячими газами.

При перпендикулярном расположении слоев сплошного металла к направлению распространения теплоты эффективный коэффициент теплопроводности можно определить по формуле (1):

$$\lambda_{эфф} = \frac{\lambda_m \cdot \lambda_n}{\lambda_m \cdot P + \lambda_n \cdot (1 - P)} \quad (1)$$

использованием ранее пройденных подготовительных выработок.

Вторая группа – технологические схемы слоевой выемки с опережающей обработкой 4-го сильвинитового слоя столбовой системой на подготовительные выработки, пройденные в нижней части пласта впереди очистного забоя, и последующей обработкой слоев 2, 2-3 и 3 также столбовой системой с проведением новых подготовительных выработок.

Третья группа – технологические схемы слоевой выемки пласта лавой переменной вынимаемой мощности с расположением одной полулавы по слоям 2, 2-3 и 3 под выработанным пространством верхнего слоя смежного столба, а другой полулавы по 4-му сильвинитовому слою – в нетронутым массиве, наличием в средней части наклонного участка длиной не менее 30 м для соединения полулав.

Четвертая группа – технологические схемы слоевой селективной выемки пласта сближенными лавами на общие выемочные штреки с вовлечением или без вовлечения в обработку 1-го сильвинитового слоя .

Пятая группа – технологические схемы последовательной селективной выемки пласта двумя трехслойными лавами с вовлечением в обработку 1-го сильвинитового слоя .

Шестая группа – технологические схемы селективной выемки пласта на полную мощность одной лавой с частичной или полной закладкой выработанного пространства разрушенным галитом.

Все разработанные технологические схемы характеризуются повышенным извлечением запасов из недр за счет отсутствия широких межпанельных целиков и небольшим удельным объемом горно-подготовительных работ. В технологических схемах с селективной выемкой пласта, кроме того, достигается высокое содержание полезного компонента (КС ℓ) в добываемой руде и снижается вероятность динамических обрушений кровли в очистных забоях. Представленные технологические схемы приняты для выполнения технико-экономического анализа с целью окончательного выбора варианта технологии на опытно-промышленном участке рудника 4 РУ.

слоевую выемку или выемку сразу на полную мощность пласта одной лавой;

- количество панельных и других подготовительных выработок, необходимых для работы очистного комплекса, должно быть минимально необходимым, при этом минимальным должны быть и пролеты этих выработок, самым существенным образом влияющие на их устойчивость;

- разработку технологических схем для столбовой системы необходимо вести с учетом расположения подготовительных выработок в нижней части пласта по слоям 2, 2-3 и 3, которые должны иметь привязку под наиболее устойчивый прослой, охраняться с использованием компенсационных щелей и крепиться анкерами, а при необходимости и специальной крепью; подготовка панелей для отработки пласта сразу на всю мощность одной лавой может осуществляться с использованием полевых выработок;

- при сплошной системе разработки 4-го сильвинитового слоя выемочные штреки, оформляемые по этому слою очистным комбайном, нишенарезной машиной, стреловидным проходческим комбайном или другим видом оборудования, должны поддерживаться позади забоя лавы специальными видами крепей, бутовой полосой и т.д. в течение короткого промежутка времени, обеспечивающего устойчивое состояние выработок.

Для сложных горно-геологических условий Третьего калийного пласта, исходя из результатов выполненных на Старобинском месторождении исследований и накопленного опыта отработки Третьего калийного пласта длинными очистными забоями, а также зарубежного опыта отработки лавами пологих угольных и калийных пластов, разработаны технологические схемы со средствами механизации, которые условно можно разделить на 6 групп.

Первая группа – технологические схемы слоевой выемки с опережающей отработкой 4-го сильвинитового слоя сплошной системой на подготовительные выработки, проводимые в нижней части пласта вслед за продвижением лавы в разгруженной от горного давления зоне, и последующей отработкой слоев 2, 2-3 и 3 столбовой системой в противоположном направлении с