УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КРЫМСКОГО ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Республики Крым "Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова" *(Симферополь)*

Номер: **38** Год: **2013**

Тема выпуска: Технические науки

Название статьи	Страницы	Цит.
РАЗДЕЛ 1. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА		
АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ВОСТОЧНОГО КРЫМА КАК ЧАСТИ МЕЖДУНАРОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА ЕВРОПА-КАВКАЗ-АЗИЯ *Сулейманов Э.С., Абдулгазис А.У.*	4-11	0
АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ РАССЛЕДОВАНИЯ ДТП ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ *Феватов С.А., Абдулгазис А.У., Абдулгазис У.А.*	11-18	0
ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ И МОЩНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ КОЛЕСНЫХ МАШИН *Подригало Н.М.*	18-24	0
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРОТИВ ЗАНОСА *Клец Д.М.*	24-29	0
ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ К ТОПЛИВУ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ *Халилов В., Менасанова С.Э., Абдулгазис У.А.*	29-38	2
АНАЛИЗ ДТП, ВЫЗВАННЫХ ОПРОКИДЫВАНИЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, И ТРЕБОВАНИЙ К УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ АВТОЦИСТЕРН *Глущенко В.В.*	38-45	0
РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ		
АНАЛИЗ МЕТОДОВ АКТИВАЦИИ СОТС ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ *Абдулгазис Д.У., Абдулгазис У.А., Ягьяев Э.Э., Умеров Э.Д.*	46-50	0
ДОВОДКА И ПОЛИРОВАНИЕ В СТРУКТУРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЯТНИКОВ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ *Колесов А.Г., Сазонов С.Е., Братан С.М.*	50-56	0
ОСОБЕННОСТИ ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ С ПРЕРЫВИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ *Богуцкий В.Б., Шрон Л.Б., Шрон Б.Л., Богуцкий Б.В.*	56-61	1
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ НА ТЯЖЕЛЫХ СТАНКАХ *Стреляная Ю.О., Новиков П.А., Братан С.М.*	61-63	0
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РОЛИКОВОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ *Хромов О.В., Харченко А.О.*	64-66	0
ПОВЕДЕНИЕ СМАЗКИ ПРИ ОБЫЧНОМ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ВОЛОЧЕНИИ СТАЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ПРОВОЛОКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В COMSOL MULTIPHYSICS *Леонтьев В.В., Хромов В.Г.*	66-71	0
ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА РАБОЧЕЙ ПЛАТФОРМЕ УСТАНОВКИ ПОСЛОЙНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ *Абдурайимов Л.Н.*	71-77	0
РАЗДЕЛ 3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ		
ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ *Бабицкий Л.Ф., Соболевский И.В.*	78-82	0
ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОГО РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ *Бабицкий Л.Ф., Соболевский И.В., Куклин В.А.*	82-85	0
РАЗДЕЛ 4. ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ТРУДА И ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ		
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТРАВМАТИЗМА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ *Ниметулаева Г.Ш., Аблязов Н.Р.*	86-91	0
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЭС. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ И ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (НА ПРИМЕРЕ САКСКОЙ ТЭС) *Бекиров Э.А., Абибуллаев А.Н.*	91-97	0
РАЗДЕЛ 4. ТЕХНОЛОГИИ ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА		
РОСПУСК КАК ОДИН ИЗ СЛОЖНЫХ СПОСОБОВ РАСКРОЯ МЕХОВЫХ ШКУРОК *Лопашова Ю.А., Лосева Е.И.*	98-103	0
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ *Сейдаметова З.Н.*	103-107	0

РАЗДЕЛ 1. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА

УДК 656.13

Сулейманов Э. С., Абдулгазис А. У.

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ВОСТОЧНОГО КРЫМА КАК ЧАСТИ МЕЖДУНАРОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА ЕВРОПА–КАВКАЗ–АЗИЯ

У статті проведено аналіз пріоритетності транспортно-логістичної функції Східного Криму, яка визначається її вузловим географічним положенням в Азовсько-Чорноморському басейні та перспективними планами входження України в систему транскордонних транспортних коридорів.

Ключові слова: *ТРАСЕКА, транспортних перехід.*

В статье проведен анализ приоритетности транспортно-логистической функции Восточного Крыма, которая определяется ее узловым географическим положением в Азовско-Черноморском бассейне и перспективными планами вхождения Украины в систему трансграничных транспортных коридоров.

Ключевые слова: *ТРАСЕКА, транспортный переход.*

The analysis of the priority transportation and logistics functions Eastern Crimea, which is determined by its geographical location in the hub of the Azov-Black Sea basin and long-term plans of Ukraine's entry into the system of cross-border transport corridors.

Key words: *TRACECA, transport transition.*

Постановка проблемы. В 1993 году на конференции в Брюсселе Евросоюз предложил реализовать в рамках Тасис программу технического содействия «Транспортный коридор Европа–Кавказ–Азия», больше известную как ТРАСЕКА. В свою очередь, государства Центральной Азии, Европы и Кавказа выразили согласие участвовать в программе, финансируемой ЕС. Такое решение было обусловлено благоприятным географическим расположением этих стран, которые являются естественным связующим звеном между Европой и Азией. Кроме того, ТРАСЕКА может также рассматриваться в качестве основного и дополнительного торгового коридора древнего Великого Шелкового пути. В круг государств-членов, подписавших в сентябре 1998 г. в г. Баку Основное Многостороннее соглашение (ОМС) по ТРАСЕКА, вошли Азербайджан, Армения, Грузия, Украина, Молдова, Румыния, Болгария, Казахстан, Турция, Узбекистан, Киргизия, Таджикистан.

Главная цель программы заключается в облегчении доступа участвующих в ней государств к международной сети автодорожного, воздушного и железнодорожного транспорта, коммерческой морской навигации, а также в увеличении объемов международных пассажиро- и грузоперевозок. Страны-партнеры выразили также желание обеспечить безопасность грузовых перевозок и защиту окружающей среды. Еще одна цель ТРАСЕКА – гармонизация транспортной и торговой политики государств-участников, включая и правовые взаимоотношения.

Украине нужно развивать транснациональные транспортные коридоры. На региональном уровне необходим транспортный переход Крым–Кубань через Керченский пролив. Это можно осуществить в рамках прокладки международной трассы Англия–Китай, проект которой называют «Возрождение Великого Шелкового пути».

Анализ литературы. Изучив договора, соглашения, меморандумы и конвенции в рамках программы ТРАСЕКА [1; 2], можно сделать вывод, что коридор ТРАСЕКА как наиболее короткий путь между Западом и Востоком за достаточно небольшое время продемонстрировал свою конкурентоспособность. Теперь это реальная альтернатива традиционным маршрутам грузовых перевозок. С момента запуска проекта ТРАСЕКА, который получил финансовую поддержку ЕС, было реализовано 78 проектов на сумму $163 млн. (включая 64 проекта технической поддержки и 14 инвестиционных проектов). Более 40% бюджета, выделенного на проект, было направлено на гармонизацию законодательной базы, оптимизацию пограничных процедур, разработку тарифной политики, наращивание потенциала и развитие инфраструктуры. В работе д.т.н. Н. Глухова и главного инженера института «Киевсоюздорпроект» О. Сергеевой [3] приводятся варианты решения транспортного перехода Крым–Кубань.

Цель работы – предложить мероприятия по адаптации дорожно-транспортной системы Восточного региона Крыма как участка междуна-

родного транспортного коридора Европа–Кавказ–Азия ТРАСЕКА.

Изложение основного материала.

Анализ работы железнодорожного (ЖД) транспорта. На территории Керчи протяженность автомобильных дорог – 324,9 км, из них 130 км – дороги магистрального значения и 194,9 км – местного значения. Общегосударственное значение имеет трасса Симферополь–Феодосия–Керчь (М-17), 16,2 км которой проходит по территории города. Она является участком Евроазиатского коридора Е-97.

Общая протяжённость железных дорог по городу составляет 117,3 км. К городу подходит ветка Южного отделения Приднепровской железной дороги Джанкой–Владиславовка–Керчь. На территории города сформирована сеть подъездных железнодорожных путей, по которым осуществляется транспортировка грузов на крупные промышленные предприятия и в морские порты [4; 5].

Изучив статистические данные Управления Приднепровской железной дороги [6; 7], мы пришли к выводу, что участком, характеризующим грузо- и пассажиропотоки, осваиваемые железнодорожным транспортом в восточном направлении Крыма, является ветвь Джанкой–Владиславовка, несущая основную нагрузку в этом направлении.

По данным работ [6; 7] был построен график распределения грузопотока по месяцам 2011 года (рис. 1).

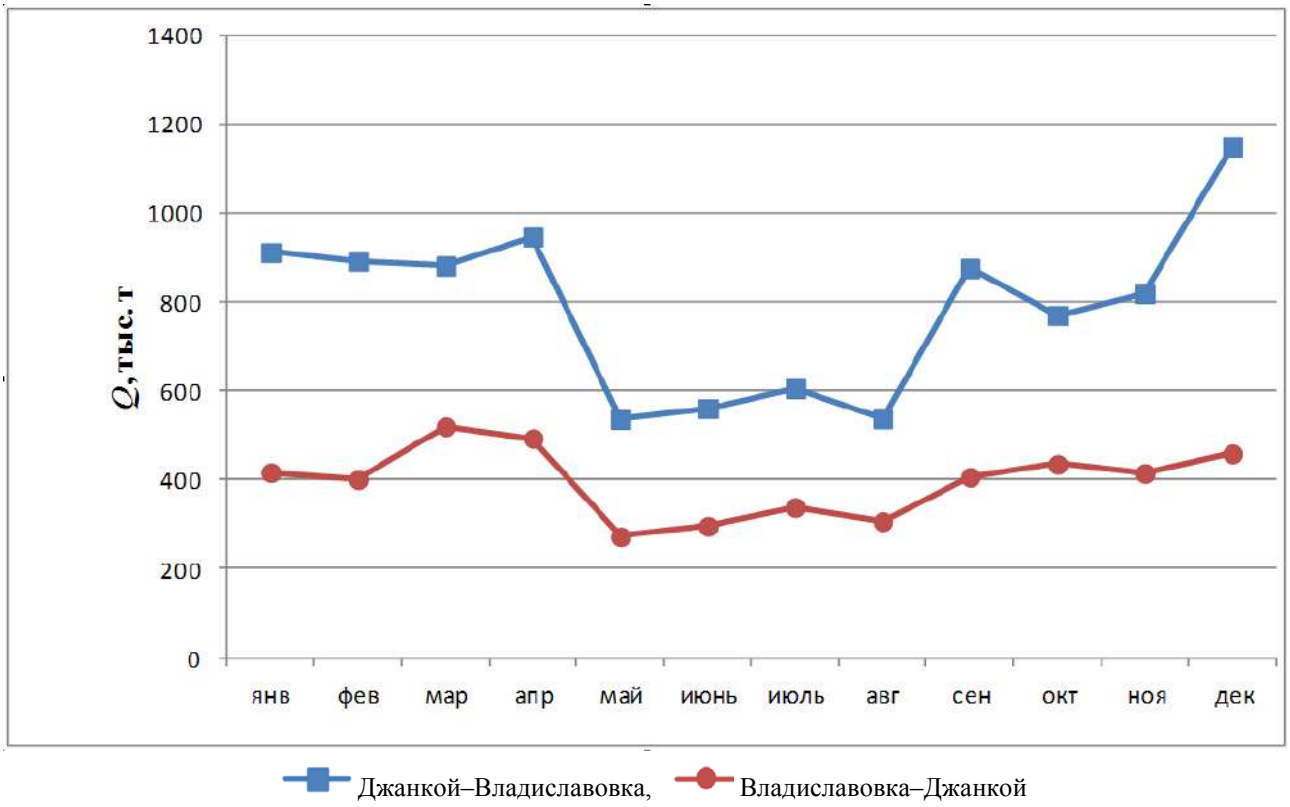


Рис. 1. Годовое распределение грузопотока, перевозимого железнодорожным транспортом между станциями Джанкой и Владиславовка, в прямом и обратном направлении (2011 г.).

По графику мы можем сделать вывод, что максимального значения грузопоток достигает в зимние месяцы 800–1000 тыс. т, а с апреля по сентябрь грузопоток, перевозимый железнодорожным транспортом, уменьшается на 400 тыс. т в направлении из Джанкоя в сторону Керченского полуострова. В обратном направлении грузопоток практически стабилен и составляет приблизительно 400 тыс. т. При этом коэффициент неравномерности по направлениям составляет:

$$\eta_{н} = \frac{Q_{ср}^{нр}}{Q_{ср}^{обр}} = \frac{790,7}{397,06} = 1,99$$

От Джанкоя в направлении Керченского полуострова грузооборот в 1,99 раза больше, чем в обратном направлении, так как потребление народно-хозяйственных грузов Керченским полуостровом превышает производство товаров этим регионом. В случае реализации планов по развитию транзитного сообщения между Керченским полуостровом и Таманским полуостровом России распределение грузопотоков по направлениям выровнится.

По данным работ [6; 8], изменения пассажиропотока по месяцам 2011 года наблюдается несколько иная картина (рис. 2, 3).

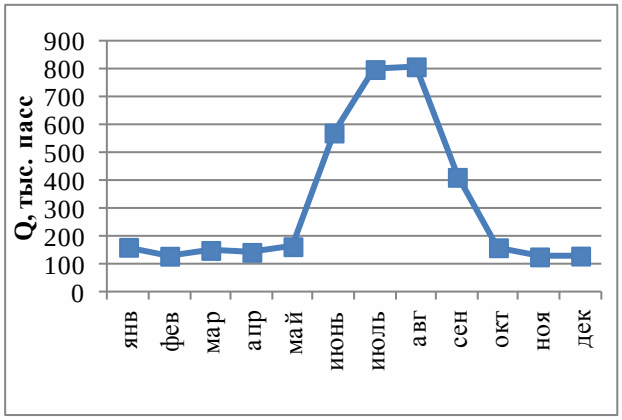


Рис. 2. Годовое распределение пассажиропотока, осуществляемого ЖД транспортом в направлении Джанкой–Владиславовка (2011 г.).

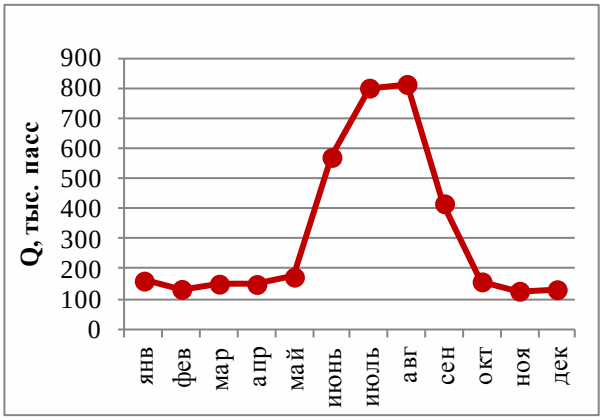


Рис. 3. Годовое распределение пассажиропотока, осуществляемого ЖД транспортом в направлении Владиславовка–Джанкой (2011 г.).

Как видно, графики на рис. 2 и 3 практически идентичны. Это говорит о том, что пассажиропоток в прямом и обратном направлении по месяцам одинаков. Но наблюдается неравномерность изменения пассажиропотока в зависимости от времени года. В летние месяцы с мая по сентябрь наблюдается резкий рост количества пассажиров как в прямом, так и в обратном направлении. Пассажиропоток достигает своего пика в августе месяце и составляет 813 тыс. пассажиров в одном направлении. В данном случае коэффициент неравномерности по месяцам составляет:

$$\eta_{н} = \frac{Q_{max}}{Q_{ср.год}} = \frac{813}{315} = 2{,}58.$$

Это обусловлено тем, что в летние месяцы пассажиропоток возрастает за счет приезда отдыхающих и туристов, а также транзитных пассажиров на территорию Таманского полуострова. Возникает необходимость эксплуатации дополнительных поездов и увеличения вагонов на существующих маршрутных поездах, изменения графиков движения.

Анализ работы автомобильного транспорта. Используя данные о количестве перевезенных пассажиров за 2011 год в ОАО «Крымавтотранс» [9; 10], с учетом визуальных натурных исследований в выборочные дни недели и месяца года был получен ряд графиков (рис. 4) изменения пассажиропотоков по месяцам года по трассе Симферополь–Феодосия-Керчь, перевозимых различными видами автомобильного транспорта (автобусами, легковыми автомобилями).

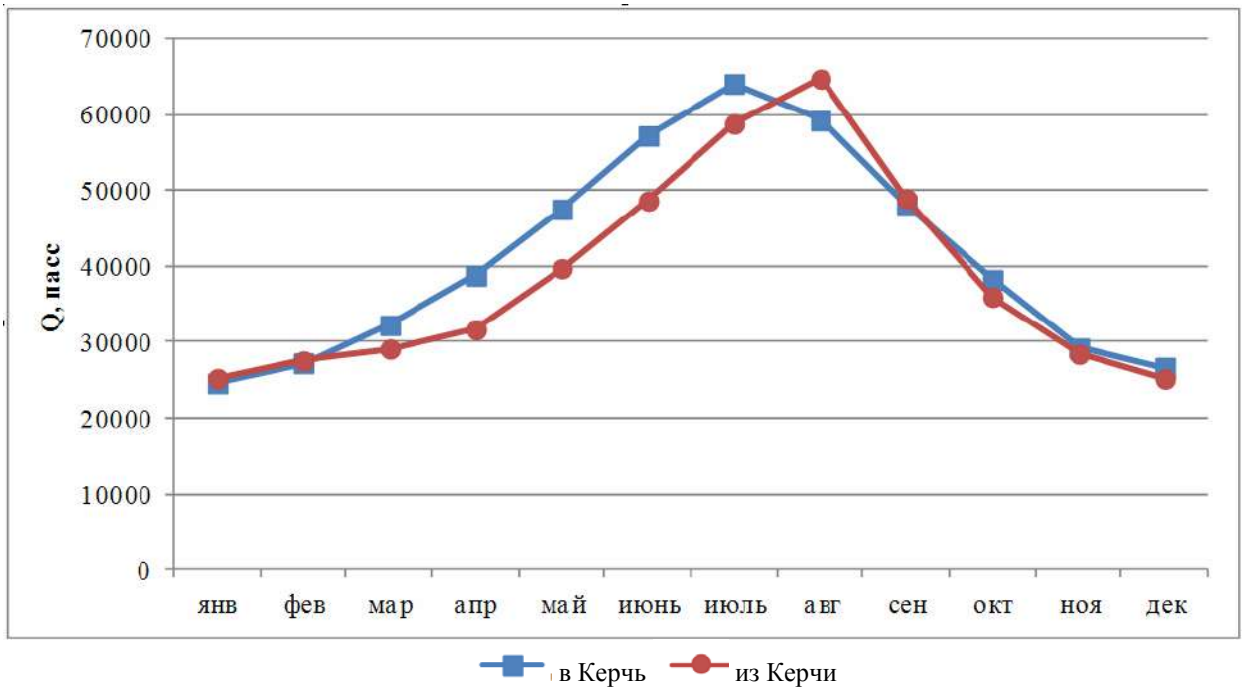


Рис. 4. Годовое распределение пассажиропотока, осуществляемого автобусами в направлении Симферополь–Керчь на участке Феодосия–Керчь (2011 г.).

Анализ графиков на рис. 4 показал, что пассажиропоток, перевозимый автомобильным транспортом в прямом и обратном направлениях, в целом одинаков. Коэффициент неравномерности по направлениям составляет:

$$\eta_{н} = \frac{Q_{ср}^{пр}}{Q_{ср}^{обр}} = \frac{41119{,}25}{38691{,}77} = 1{,}06,$$

где $Q_{ср}^{пр}$ – среднегодовое количество пассажиров на участке Феодосия–Керчь;

$Q_{ср}^{обр}$ – среднегодовое количество пассажиров на участке Керчь–Феодосия.

Пассажиропоток плавно возрастает с февраля по июль–август и резче спадает в осенние месяцы. Пик на участке Феодосия–Керчь наблюдается в июле месяце (64125 пасс.), что связано с притоком отдыхающих. А в обратном направлении этот пик приходится на август (64767 пасс.). Это характерно для массового отъезда туристов из мест отдыха в связи с началом учебного года у учащихся и окончанием отпусков.

Коэффициент неравномерности по месяцам составил:

$$\eta_{м}^{пр} = \frac{Q_{max}^{пр}}{Q_{ср}^{обр}} = \frac{64125}{41119} = 1{,}56$$

$$\eta_{м}^{обр} = \frac{Q_{max}^{обр}}{Q_{ср}^{обр}} = \frac{64764}{38691{,}77} = 1{,}67.$$

Эти коэффициенты говорят о том, что пассажиропоток неравномерен на протяжении всего года. Возникают дополнительные трудности. Пропускная способность транспортной сети не соответствует требуемому показателю. Вместимость автобусов не позволяет освоить увеличивающийся пассажиропоток в летние месяцы.

График пассажиропотока, перевозимого легковыми автомобилями, имеет более плавную конфигурацию, чем график пассажиропотока, перевозимого автобусами (рис. 5). Это можно объяснить деловыми поездками людей на личном транспорте как во время летнего сезона, так и в межсезонье.

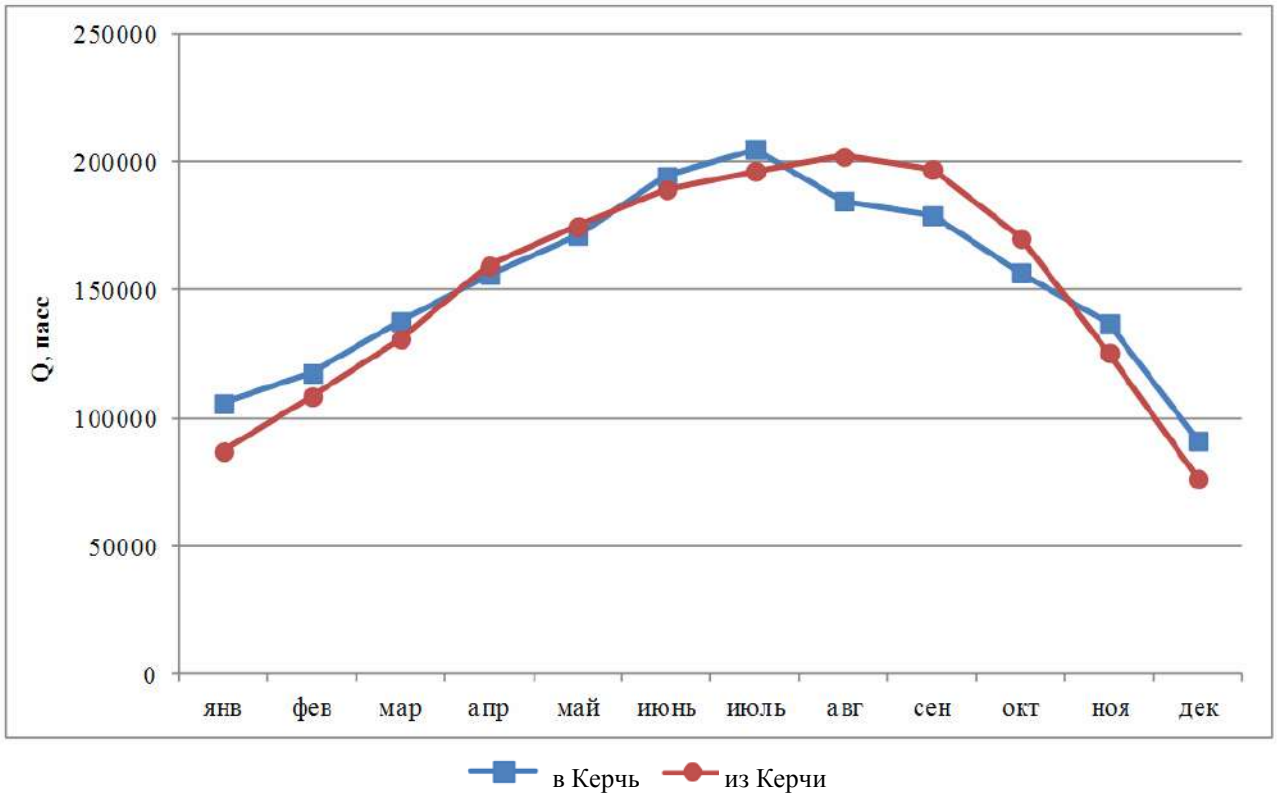


Рис. 5. Годовое распределение пассажиропотока, осуществляемого легковыми автомобилями в направлении Симферополь–Керчь на участке Феодосия–Керчь (2011 г.).

При таком характере пассажиропотоков все же присутствует неравномерность по месяцам. Данный коэффициент неравномерности составляет:

$$\eta_{м} = \frac{Q_{max}^{пр}}{Q_{ср}^{обр}} = \frac{205200}{153166{,}2} = 1{,}33$$

как в прямом, так и в обратном направлении.

Коэффициент неравномерности по направлениям получился

$$\eta_{м} = \frac{Q_{ср}^{пр}}{Q_{ср}^{обр}} = \frac{205200}{202356} = 1{,}01.$$

Суммарный объем пассажиров, перевозимых автобусами и легковыми автомобилями на участке Феодосия–Керчь, характеризует график на рис. 6.

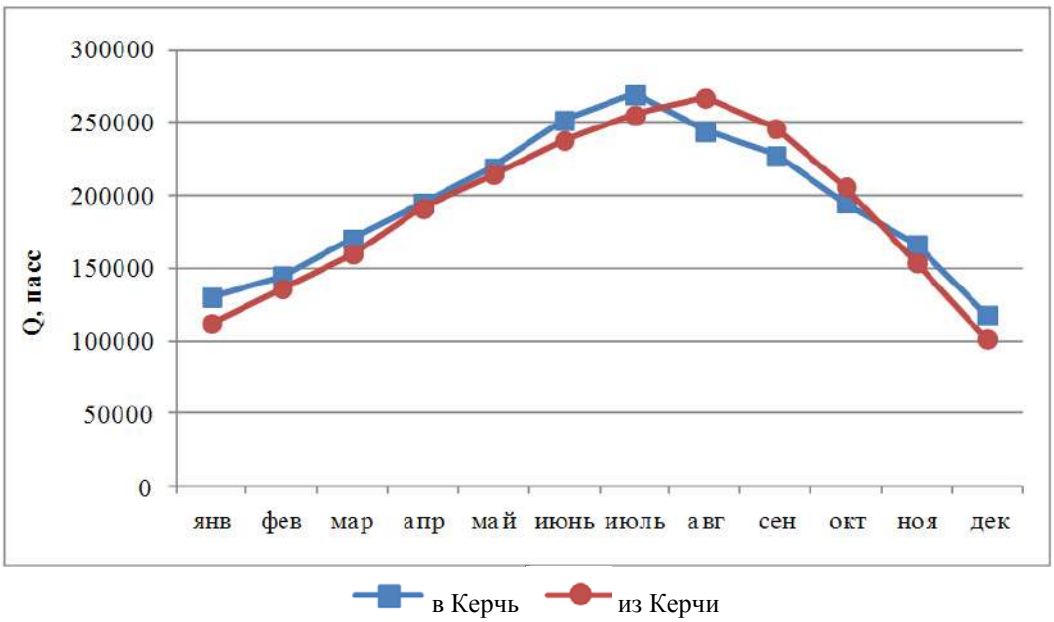


Рис. 6. Суммарный график годового распределение пассажиропотока, осуществляемого автобусами и легковыми автомобилями, в направлении Симферополь–Керчь на участке Феодосия–Керчь (2011 г.).

Так как легковые автомобили осуществляют основную часть автомобильных перевозок (76%), а автобусы – только 24%, то и суммарный график повторяет распределение пассажиропотоков, перевозимыми легковыми автомобилями. Количество перевезенных пассажиров на участке Феодосия–Керчь достигает своего пика в июле (269325 пасс.), в обратном направлении – в августе (267120 пас). Если сравнить объемы осваиваемых пассажиропотоков, то железнодорожным транспортом осуществляется 75% перевозок, а автомобильным – 25% в этом направлении.

В зимние месяцы интенсивность движения автомобилей на трассе в оба направления составила 5000 авт./сут. Летом же – 10000–11000 авт./сут. Такая интенсивность движения по СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги» и СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги» соответствует 2-ой категории дорог. А существующая трасса относится к 3-ей. Даже на сегодняшний день эта трасса требует модернизации, а в случае ввода в эксплуатацию переправы через Керченский пролив трасса она приобретет статус магистрали европейского значения с необходимостью доведения ее характеристик до 1а класса [11; 12].

В весенние и осенние месяцы автомобильным и ЖД транспортом перевозится приблизительно равное количество пассажиров в направлении Керчи и обратно (140–160 тыс. пас, соответственно) (рис. 7, 8).

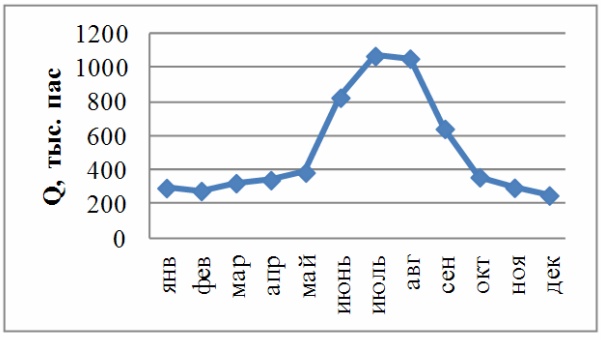


Рис. 7. Годовое распределение пассажиропотока, осуществляемого автомобильным и железнодорожным транспортом в направлении Симферополь–Керчь на участке Феодосия–Керчь (2011 г.).

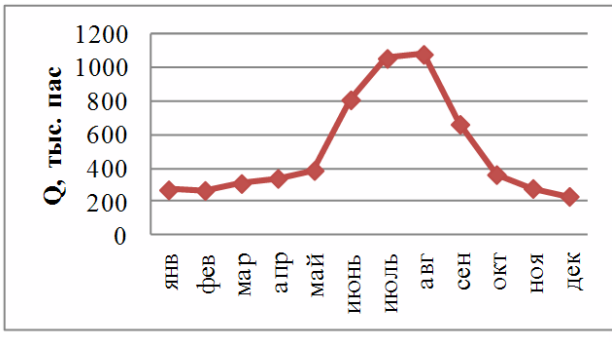


Рис. 8. Годовое распределение пассажиропотока, осуществляемого автомобильным и железнодорожным транспортом в направлении Симферополь–Керчь на участке Керчь–Феодосия (2011 г.).

В летние месяцы ЖД транспортом перевозится в три раза больше пассажиров, нежели автомобильным. Это характерно и для обратного направления. На эту ситуацию накладывают отпечаток как стоимость железнодорожных билетов, так и возможность прямого сообщения с дальними регионами Украины. Основной поток отдыхающих из Керчи в Симферополь связан с

туристами, прибывающими и отбывающими из Крыма через Симферополь. Этот поток следует через центральный аэропорт и ЖД вокзал столицы. Его можно сократить при организации аэропорта в пригороде Керчи. Чтобы сократить финансовые затраты, целесообразно модернизировать существующий аэропорт в п. Багерово для приема воздушных судов различных классов.

График, представленный на рис. 9, повторяет график пассажиропотока, перевозимого ЖД транспортом, т. к. удельный вес железнодорожных перевозок пассажиров в данном направлении составляет 75% от общего. Обоими видами транспорта в летние месяцы в направлении Керчи перевозится в июле 1056594 пассажиров, а в обратном – 1080720 пассажиров в августе месяце.

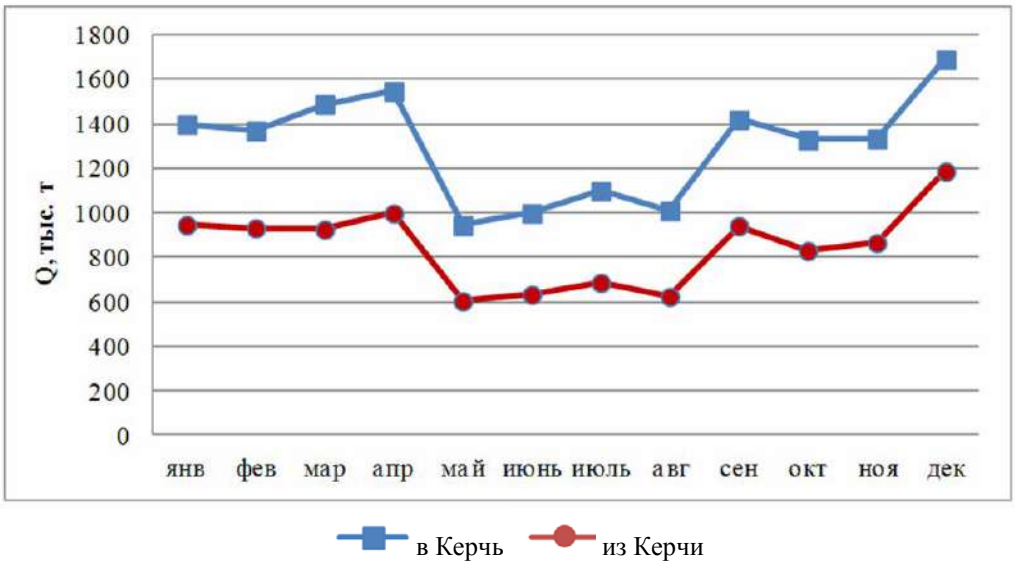


Рис. 9. Годовое распределение грузопотока, осуществляемого ЖД и автомобильным транспортом в направлении Керчи и обратно (2011 г.).

Грузопоток в этом направлении в основном осуществляется ЖД транспортом (80% перевозок), автомобильным же – лишь 20%. Поэтому объем грузов, перевозимый автомобильным транспортом, незначительно влияет на распределение грузооборота, и суммарный график повторяет распределение грузооборота, осваиваемого ЖД транспортом.

Определение пропускной способности паромной переправы порт Крым – порт Кавказ. Расчет выполнен по методике, изложенной в работе [13].

1. Для расчета пропускной способности паромной переправы исходными являются такие данные:

- суточная расчетная интенсивность движения $N_{сут}$ = 138 авт./сут.;
- состав транспортного потока: легковые – P_1 = 50%; грузовые – P_3 = 10%; грузовые тяжелые и автобусы – P_5 = 20%; автопоезда – P_7 = 20% [5];
- ширина зеркала воды в месте переправы (расстояние между причалами) $L_п$ = 3210 м;
- тип парома и способ его перемещения – самоходный, семеркой;
- размер (площадь) грузовой палубы для размещения автомобилей S = 1150 м^2;
- количество часов работы переправы в сутки h = 21 ч.

2. За расчетную интенсивность движения принимается среднегодовая суточная интенсивность движения $N_{сут}$ (авт./сут.).

В качестве расчетной часовой интенсивности движения принимается величина:

$$N_ч = 0{,}1N_{сут} = 0{,}1 \times 138 = 13{,}8.$$

3. Состав транспортного потока (по группам автомобилей) определили в процентах.

4. Провели расчет пропускной способности паромной переправы для каждой группы автомобилей, который составил:

$$N_{сут}^{пр} = N_{сут} = 307{,}23 \text{ авт./сут.},$$

$$N_ч^{пр} = N_ч = 30{,}63 \text{ авт./ч.}$$

5. Для эксплуатируемого типа парома определили расчетную вместимость приведенных автомобилей (первой группы) по формуле:

$$n_{пр} = 0{,}09S = 0{,}09 \times 1150 = 103{,}5 \text{ авт.},$$

где $n_{пр}$ – вместимость парома в расчетных автомобилях;

S – площадь грузовой палубы, м^2.

6. Определили продолжительность загрузки и разгрузки парома принятого типа в зависимости от приведенной вместимости парома $n_{пр}$:

$$T_з = 0{,}23+0{,}2n_{пр} = 0{,}23 + 0{,}2 \times 103{,}5 = 20{,}93 \text{ мин};$$

$$T_р = 0{,}2 + 0{,}12 \times 103{,}5 = 12{,}62 \text{ мин}.$$

7. Для парома принятого типа определили продолжительность причаливания и отчаливания:

$$T_{пр} = 1{,}4 \text{ мин}; \; T_{отч} = 1{,}1 \text{ мин}.$$

8. Определили значения коэффициента удлинения пути парома в зависимости от схемы движения:

$K_{уд} = 3{,}23L_р^{-0{,}16} = 3{,}23 \times 3{,}210^{-0{,}16} = 2{,}68.$

9. Для принятого типа парома в зависимости от мощности буксира определили скорость движения парома $v_б$, м/мин.

При использовании других способов перемещения парома скорость его движения определяют на основании замеров $v_б$ = 336 м/мин (20,16 км/ч).

10. Определили время, необходимое на преодоление водной преграды:

$$T_п = 25{,}6 \text{ мин.}$$

11. Для расчетной среднегодовой суточной интенсивности движения $N_{сут}$, авт./сут. определили величину коэффициента загрузки парома (табл. 1).

Таблица 1.

Зависимость коэффициента загрузки парома от среднегодовой суточной интенсивности движения.

Расчетная среднегодовая суточная интенсивность движения $N_{сут}$ авт./сут.	**Коэффициент загрузки *z***
200–1000	0,65
1000–2200	0,70
2200–3600	0,75

12. Определили для принятых условий расчетную пропускную способность паромной переправы (в приведенных к первой группе автомобилях):

- суточную

$$P^{пр}_{сут} = 1374{,}96 \text{ авт./сут.;}$$

- максимальную часовую

$$P^{пр}_{ч} = 65{,}47 \text{ авт./ч.}$$

13. При $P^{пр}_{сут} > N^{пр}_{сут}$ и $P^{пр}_{ч} > N^{пр}_{ч}$ принятый тип парома обеспечивает требуемую пропускную способность переправы. В нашем случае расчетная суточная пропускная способность 1374,96 авт./сут., фактическая – 307,23 авт./сут. Соответственно, расчетная часовая пропускная способность составляет 65,47 авт./сут., а фактическая – 30,63 авт./сут., что говорит об использовании пропускной способности паромной переправы (п. Крым – п. Кавказ) на 46%. Эта цифра является среднегодовым показателем, в летние месяцы пропускная способность паромной переправы используется на 80–90%, в зимние месяцы этот показатель падает до 20–30%.

Количество автомобилей через паромную переправу плавно растет и достигает пика в летние месяцы (июль, август), затем так же плавно спадает (рис. 10).

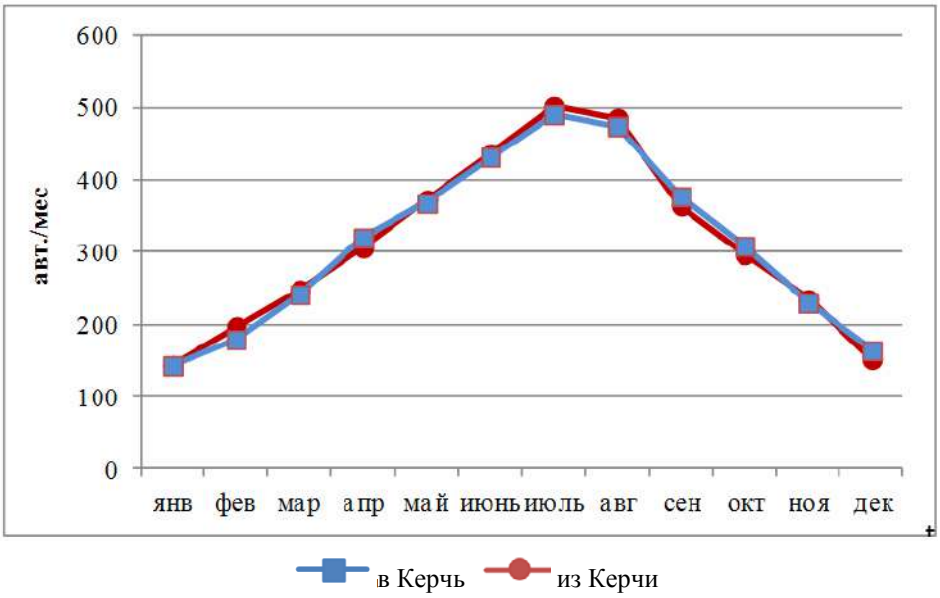


Рис. 10. График годового распределения потока автомобилей через паромную переправу п. Крым – п. Кавказ (за основу взяты показатели интенсивности автомобилей в сутки).

14. Исходя из состава потока транспортных средств на паромной переправе, можно определить количество людей, переправляющихся в одном направлении в течение суток.

В результате мы определили средний суточный пассажиропоток в одном направлении, который составил 1271 чел./сут. В летние месяцы он возрастает пропорционально увеличению потока транспортных средств и составляет 2514 чел./сут. В зимние месяцы, соответственно, составляет 774 чел./сут. в одном направлении.

Выводы.

1. Ветвь Приднепровской ЖД направления Джанкой–Владиславовка–Керчь на сегодняшний день удовлетворяет в потребностях перевозки грузов и пассажиров. Но при рассмотрении ее как части европейско-азиатской транспортной магистрали возникает необходимость

прокладки двухпутной электрифицированной ЖД с прилегающей инфраструктурой до западной границы Украины.

2. Трасса Симферополь–Феодосия–Керчь (Е 97) принадлежит к третьей категории дорог. В летние месяцы пропускная способность ее не достаточна. Уже сегодня необходима модернизация этой дороги и доведение ее до 2-го класса с пропускной способностью 11 тыс. авт./сут., а с приобретением статуса магистрали европейского значения – до 1-го А класса (4 полосы движения с разделительной полосой, ширина каждой полосы 3,75 м с соответствующими инфраструктурами).

3. С целью осуществления перехода через Керченский пролив в рамках программы ТРАСЕКА следует создать подземный тоннель по типу тоннеля под Ла-Маншем. По предварительным подсчетам на его постройку будет потрачено 450 млн. долл. США. Срок строительства займет 3–5 лет. Но прежде чем начать строительство столь масштабного объекта, необходимо организовать такую транспортную инфраструктуру, которая сможет переработать весь объем груза, нужного для строительства тоннеля, и тот объем, который последует после ввода этого тоннеля в эксплуатацию. К мероприятиям по улучшению транспортной инфраструктуры входят реконструкция дорог г. Керчи с повышением их категории, строительство объездных трасс, постройка портового терминала, прокладка дополнительного железнодорожного пути и расширение ЖД вокзала.

4. Прохождение международной транспортной магистрали через г. Керчь существенно оптимизирует возможные варианты транзитных железнодорожных, автомобильных, водных и воздушных грузо- и пассажиропотоков в комплексе через Керченский полуостров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекмагамбетов М. М. Транспортный коридор TRACECA «Европа – Кавказ – Азия»: состояние и перспективы развития / М. М. Бекмагамбетов, Г. М. Бекмагамбетова, А. В. Кочетков // Дороги. Инновации в строительстве. – 2010. – № 3. – С. 15–21.
2. Коридор ТРАСЕКА – дорога в будущее [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.investkz.com/journals/39/217.html.
3. Великий шелковый путь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.glavcom.ua/articles/849.html.
4. Стратегия экономического и социального развития Автономной Республики Крым на 2011–2020 годы. – Киев ; Симферополь, 2010. – 62 с.
5. Стратегический план экономического развития города Керчь до 2015 г. – Керчь, 2010. – 40 с.
6. Служебное расписание движения пригородных поездов на 2011/2012 гг. – Днепропетровск, 2011. – 156 с.
7. Статистическая отчетность (месячная, годовая) приднепровской железной дороги о постоянном отправлении груза за 2011 г.
8. Статистическая отчетность (месячная, годовая) приднепровской железной дороги о постоянном отправлении пассажиров за 2011 г.
9. Расписание движения автобусов по данным ОАО «Крымавтотранс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.crimea.vgorode.ua/news/59451.
10. Статистическая отчетность (месячная, годовая) ОАО «Крымавтотранс» за 2011 г.
11. Классификация автомобильных дорог Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа : en.wikipedia.org/wiki/Автомобильные_дороги_Украины.
12. Карта Крыма. Подробный атлас автомобильных дорог Крыма [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ukr-map.com.ua/246857.html.
13. ВСН 50-87 «Инструкция по ремонту, содержанию и эксплуатации паромных переправ и наплавных мостов [Электронный ресурс] / Минавтодор РСФСР. – Режим доступа : http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/5/5520/index.php.

УДК 681.5.012:656.08:629.017

Феватов С. А., Абдулгазис А. У., Абдулгазис У. А.

АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ РАССЛЕДОВАНИЯ ДТП ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ

Проведено аналіз існуючих методів визначення коефіцієнта зчеплення шини з дорожнім покриттям, запропоновано новий експрес-метод визначення зчіпних якостей шини з полотном дороги для автомобіля, який потрапив у ДТП.

Ключові слова: *коефіцієнт зчеплення, дорожнє покриття, шина.*

Проведен анализ существующих методов определения коэффициента сцепления шины с дорожным покрытием, предложен новый экспресс-метод определения сцепных качеств шины с полотном дороги для автомобиля, попавшего в ДТП.

Ключевые слова: *коэффициент сцепления, дорожное покрытие, шина.*

An analysis of existing methods for determining the coefficient of friction tires and the road surface, we propose a new express-method of determining the coupling of a tire with the road surface for a car involved in an accident.

Key words: *friction coefficient, pavement, bus.*

Постановка проблемы. Рост автомобильного транспорта в количественном и качественном отношениях, увеличение интенсивности движения приводят к тому, что проблема обеспечения безопасности движения на дорогах становится чрезвычайно актуальной.

В последние годы ведется широкий фронт работ по улучшению показателей безопасности автомобилей, совершенствуются конструкции рулевого управления, подвески, тормозной системы, технические параметры колес и шин. Но все эти мероприятия могут быть бесполезны, если не будет обеспечено надежное сцепление шины с дорогой. Особенно проблема обостряется в связи с ростом скоростей движения автомобилей. Улучшение коэффициента сцепления шин с дорожным полотном является постоянной заботой и дорожников, и шинников.

При расследовании причины дорожно-транспортного происшествия (ДТП) возникает необходимость определения коэффициента сцепления конкретного колеса (шины) на месте, на участке дороги, где произошло столкновение или наезд. Поскольку в широком пользовании такой методики нет, то при практических расчетах пользуются среднестатическим значением этого коэффициента, либо применяют расчетные методы, например математический метод нечеткой логики, что существенно, а в первом случае недопустимо может исказить получаемые результаты.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время основным документом, в котором дается полное определение и метод определения коэффициента сцепления колеса с дорогой, являются «ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги» [1], действующие с 1 июля 2000 г., где в свою очередь ссылаются на ДСТУ Б В.2.3-2-97 (ГОСТ 30413-96) «Дороги автомобільні. Метод визначення коефіцієнтів зчеплення колеса автомобіля з дорожнім покриттям» [2].

В пункте 3.1 ДСТУ Б В.2.3-2-97 [2] дается следующее определение «коэффициент сцепления (продольного) – отношение максимального касательного усилия, действующего вдоль дороги на площади контакта заблокированного колеса с дорожным покрытием, к нормальной реакции площади контакта колеса с покрытием».

Исследованию коэффициента сцепления колеса с дорогой посвящен ряд работ [3–7]. В работе [3] коэффициент сцепления φ определяет как отношение максимальной касательной реакции $T_{\max}$ в зоне контакта к нормальной реакции или нагрузке $G_{к,}$ действующей на колесо:

$$\varphi = \frac{T_{\max}}{G_{к}}.$$

В работе [3] коэффициент сцепления различают при качении колеса в плоскости вращения, без буксования или скольжения; при буксовании или юзе, в плоскости его вращения; при боковом скольжении колеса.

Е. А. Чудаков [4] предложил определение, в котором коэффициент сцепления φ между колесом автомобиля и опорной поверхностью представлен как отношение результирующей реакции (действующей на колесо в опорной поверхности) к радиальной реакции, при котором начинается буксование (или скольжение) колеса. При отсутствии боковой силы, действующей на колесо, результирующая реакция равна тангенциальной реакции, и в этом случае коэффициент сцепления определяется как отношение максимальной тангенциальной реакции к радиальной реакции. Далее, учитывая то, что понятие о коэффициенте сцепления не остается постоянным для различных случаев движения колеса, Е. А. Чудаков рассматривает следующие варианты:

- коэффициент сцепления, соответствующий началу пробуксовывания или проскальзывания колеса при качении его в плоскости вращения (при отсутствии боковой силы);
- коэффициент сцепления, соответствующий качению колеса в плоскости вращения, но при наличии пробуксовывания или проскальзывания;
- коэффициент сцепления при движении колеса под углом к плоскости вращения (наличие бокового увода или бокового увода при одновременном боковом скольжении);
- коэффициент сцепления, соответствующий боковому перемещению колеса (скольжение в бок без качения).

Й. Раймпель [5] дает определение коэффициента сцепления как «продольная сила, деленная на нормальную силу».

В соответствии с исследованием [6], коэффициент продольного сцепления колеса целесообразно определять опытным путем. Этот коэффициент он связывает с коэффициентом буксования у ведущего и скольжения у тормозящего колеса.

Свои определения коэффициента сцепления предлагают эксплуатационники, диагносты и

проектировщики автомобильных дорог [8–10]. Так, А. П. Васильев [8] определяет коэффициент сцепления как отношение реактивной силы, действующей на колесо автомобиля в плоскости его контакта с покрытием, к вертикальной нагрузке, передаваемой колесом на покрытие. Авторы работы [9] определяют коэффициент сцепления как отношение результирующей реакции, возникающей в опорной плоскости касания колеса с поверхностью, к соответствующему значению нормальной нагрузки, действующей на колесо.

В работе [10] указывается на то, что тяговое усилие на колесах автомобиля, обеспечиваемое мощностью двигателя, может быть развито лишь в том случае, если между ведущими колесами и дорогой имеется достаточное сцепление. Величину отношения максимального тягового усилия к вертикальной нагрузке на колесо, при превышении которого начинается буксование ведущего колеса или проскальзывание заторможенного, авторы указанной работы называют коэффициентом сцепления. Действующая сила в плоскости контакта шины с дорогой не должна превышать величины силы сцепления. В связи с этим разделяют две величины коэффициента сцепления:

- коэффициент продольного сцепления – коэффициент сцепления, соответствующий началу пробуксовывания или проскальзывания колеса при его качении, без воздействия боковой силы;
- коэффициент поперечного сцепления – поперечная составляющая коэффициента сцепления при смещении колеса под углом к плоскости движения, когда колесо одновременно и вращается, и скользит в бок.

Цель статьи – на основе анализа известных методов определения коэффициента сцепления шин с дорожной поверхностью оценить возможность их применения в частном случае, где после ДТП требуется экспериментальный результат по конкретной шине и по конкретному участку полотна дороги.

Изложение основного материала. В настоящее время для определения коэффициента сцепления с дорожным покрытием нашли применение приборы маятникового и ударного типов, где используются в качестве колеса имитаторы шин, либо применяется «пятое колесо» или динамометрическая тележка, установленная на двух колесах.

Большое распространение получили два вида маятниковых приборов: МП-3 и портативный маятниковый прибор Транспортной исследовательской лаборатории Великобритании [11]. Определяют коэффициент сцепления с помощью указанных приборов следующим образом. Прибор устанавливают на поверхности дорожного покрытия, штангу приводят в вертикальное положение по уровню. Поверхность дорожного покрытия смачивают водой и отпускают маятник. Последний, проскальзывая обрезиненным башмаком по поверхности дорожного покрытия, поднимается на определенный угол, который фиксируется на шкале прибора. По углу подъема маятника судят о сцепляемости поверхности дорожного покрытия.

Недостатком маятниковых приборов являются малые размеры резинового элемента, имитирующего протектор автомобильной шины. По этой причине такие приборы не используют для измерения коэффициента сцепления грубошероховатой поверхности. Совершенно очевидно, что они не пригодны для достижения нашей цели.

Следующий вариант для рассмотрения – портативный прибор ударного действия ППК-2 разработки МАДИ-ВНИИБД [11] и измеритель коэффициента сцепления портативный ИКСп. Устройство состоит из штанги со скользящим по ней грузом, подвижной муфты и пружины, соединенной с башмаком-имитатором.

Принцип работы обоих устройств основан на использовании энергии падающего груза для перемещения резиновых имитаторов шин, т. е. подвижный груз закрепляется в верхнем положении стойки, увлажняется поверхность дорожного покрытия, груз освобождается, ударяя по подвижной муфте. Под действием удара груза имитаторы прижимаются и перемещаются по поверхности дорожного покрытия. По положению измерительной шайбы на шкале определяют коэффициент сцепления.

Недостатки этих приборов: низкая точность проводимых измерений, измерения проводятся только в летний период времени, малая производительность в работе при измерении коэффициента сцепления, непригодность для применения в частных случаях по конкретной шине на конкретном участке дороги.

В работах [12–16] описаны способы, где в качестве измерительного колеса также используют имитатор шины. Во всех случаях устройства содержат имитатор шины, корпус, нагрузочный механизм и индикатор величины коэффициента сцепления. Отличие их друг от друга заключается в том, что в одном случае нагрузочное устройство нагружает имитатор шины путем вращения винта, а сцепные качества покрытия оценивают по коэффициенту трения покоя [12; 14]. В другом случае нагрузочный механизм выполнен в виде пары кареток и связан с приводом возвратно-поступательного переме-

щения, выполненного в виде пружины возврата и пневмопривода. Показания, фиксируемые на манометре пневмопривода, являются коэффициентом сцепления [13; 16]. В третьем случае движитель выполнен в виде обмотки управления вращающейся электромагнитной порошковой муфты. Коэффициент сцепления определяется по моменту, необходимому для приведения имитатора шины из состояния покоя в режим буксования [15].

Основным их недостатком является сложность конструкций. Наличие в них узлов трения влияет на точность оценки измеряемого параметра. Снижает точность измерений необходимость вручную осуществлять нагружение имитатора шины через дополнительные нагрузочные механизмы. Принудительное перемещение имитатора даже при очень малых скоростях является скольжением, а коэффициент трения чувствителен к скорости перемещения. При высоких скоростях разброс увеличивается. Измерения проводятся только в летнее время, так как исследуемая поверхность дорожного покрытия требует ее увлажнения. Неровности поверхности дорожного покрытия могут вызвать неодинаковые перемещения нажимного элемента, что сказывается на надежности работы распределителя, а значит, и работы устройства в целом.

В работах [17–20] предложены методы для определения коэффициента сцепления с помощью динамометрической тележки, в основе которой лежит ДСТУ Б В.2.3-2-97 [2]. В качестве испытательного оборудования используют автомобильную установку типа ПКРС-2, состоящую из автомобиля, прицепного одноколесного прибора, оборудованного датчиками ровности и коэффициента сцепления, а также установленных в автомобиле систем увлажнения покрытия, управления и регистрации. Недостатками данного устройства являются низкая точность и недостаточная достоверность измерений, так как оценка коэффициента сцепления осуществляется не прямым измерением. Кроме того, на оценку влияют факторы состояния поверхности движения и состояние измерительных средств. Установка эффективна только при измерениях на ровных поверхностях, что обуславливает его ограниченные технологические возможности, особенно на участках дорог с различными уклонами. Устройство измеряет коэффициент сцепления при полном затормаживании колеса.

В остальных методах устройство также содержит прицеп с установленными на двух полуосях измерительным и свободно катящимся колесами, датчик чисел оборотов колес, которые соединены с входом блока регистрации. Различными являются только конструкции тормозящей системы. В одном случае одно колесо тормозят механическим тормозом [17], в другом – в качестве тормоза используют электромагнитную порошковую муфту, или к полуоси измерительного колеса подсоединен вал, на котором установлен датчик крутящего момента, соединенный с вращающим элементом электромагнитной порошковой муфты [18; 19].

В следующем случае [20] в качестве тормозящей системы используют гидравлический насос, который вращательную энергию колеса преобразует в гидравлическую энергию потока рабочей жидкости, создает гидравлическое сопротивление гидролинии. При этом возрастает нагрузка на измерительное колесо, что создает проскальзывание измерительного колеса.

Таким образом, сравнивая пройденный путь свободно катящегося колеса с измерительным колесом, который периодически притормаживает или тормозит, можно определить коэффициент сцепления.

Недостатки данных методов в том, что их элементы подвержены влиянию внешней среды в виде пыли, влаги, образующихся от вращения колес. Измерения коэффициента сцепления в таких условиях становится неэффективными. Коррозия способствует износу конструктивных элементов устройства. Механическая составляющая тормозящей системы подвержена влиянию случайных дестабилизирующих факторов. Это приводит к снижению достоверности полученных данных по замеру коэффициента сцепления. Кроме того, измеряемые параметры не являются величинами, непосредственно определяющими коэффициент сцепления, а являются косвенными параметрами сцепных качеств дорожной поверхности с колесом транспортного средства. Внешние факторы (наличие колеи, криволинейные участки дороги, волны дорожной поверхности, выбоины) приводят к потере точности измерения и ухудшают динамические характеристики измерительного устройства.

Известны методы определения сцепления шины с дорожным покрытием на основе отдельно стоящего колеса [21–26]. Общее в этих устройствах заключается в том, что они содержат измерительное колесо, установленное на отдельной раме, измерительное устройство и тормоз. Отличие заключается в том, какими механизмами осуществляется торможение измерительного колеса и какими способами считывается информация о величине сцепления колеса с дорогой.

Коэффициент сцепления с дорогой определяют в одном случае с помощью воздействия силы торможения на измерительное колесо, перемещение которого фиксирует измерительный

датчик. Сила торможения непрерывно вводится в процессор, который вычисляет величину коэффициента сцепления [21]. Во втором случае определяют коэффициент сцепления между измерительным колесом и дорожным покрытием в момент перехода измерительного колеса из неподвижного состояния в режим буксования. Для этого к его ободу по касательной прикладывают дополнительную нагрузку, которую плавно увеличивают до значения, обеспечивающего начало буксования, после чего по величине соотношения дополнительной и основной нагрузок судят о сцепных качествах покрытия дороги [22]. В третьем случае коэффициент сцепления вычисляется путем измерения максимальной силы продольного динамического торможения измерительного колеса по поверхности покрытия, когда максимальная механическая сила сцепления измерительного колеса превращается в электрическую и выделяется в виде тепловой энергии [23; 24].

В следующих устройствах [25; 26] определяют коэффициент сцепления с помощью двух датчиков крутящего момента. Один датчик крутящего момента измеряет момент силы торможения измерительного колеса, второй – момент силы сцепления измерительного колеса. Момент силы торможения и момент силы сцепления поступают в микроконтроллер, где значение момента силы сцепления измерительного колеса сравнивают с моментом силы торможения электромагнитного тормоза. Максимальное тормозное усилие равно силе сцепления измерительного колеса.

Недостатки вышеуказанных методов заключаются в том, что они не позволяют определить коэффициент сцепления на ограниченной площади дорожного покрытия. При выполнении измерений требуется обязательное увлажнение дорожного покрытия и соблюдение определенной скорости движения измерительного колеса.

Отметим еще один способ определения коэффициента сцепления, в котором не применяют оговоренное выше измерительное колесо [27]. Измеряют коэффициент сцепления в этом способе путем определения параметров дорожного покрытия и последующего вычисления коэффициента сцепления. В первую очередь измеряют ординаты микропрофиля поверхности дорожного покрытия на фиксированном промежутке. Далее определяют длину кривой микропрофиля и параметры шероховатости дорожного покрытия. Недостаток данного способа в том, что невозможно оценить коэффициент сцепления для конкретного автомобиля с его конкретной массой, рисунком протектора, степенью его изношенности.

Все вышеперечисленные методы не дают возможности определения коэффициента сцепления с дорожным покрытием для отдельного конкретного колеса автомобиля, попавшего в ДТП. Необходима разработка метода определения коэффициента сцепления непосредственно на автомобиле.

В работе [28] предложена математическая модель для определения коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием, основанная на теории нечеткой логики, введенная в научный оборот профессором Лютфи Заде. Вычисление коэффициента сцепления по табличным материалам в этом методе не позволяет привязаться к конкретным дорожным условиям, где произошло ДТП.

В связи с тем, что и в научном обороте, и на практике в широком пользовании не имеется экспресс-методики и оборудования для определения коэффициента сцепления колеса конкретного автомобиля с дорожным покрытием на конкретном участке дороги при расследовании ДТП, нами предлагается приспособление для определения коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием при расследовании ДТП, а также определения технического состояния шин ведущих и направляющих колес автомобилей перед подготовкой в рейс.

Устройство для определения коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием (рис. 1) состоит из редуктора 1, установленного на пластине 2 с регулируемыми по высоте опорами 3, закрепленными на поверхности 4, которая имитирует дорожное покрытие. На выходном валу 5 редуктора 1 установлена шпонка 6 (или шлицах) с возможностью продольного перемещения муфты 7, буртик 8 которой снабжен радиальными пазами 9. На редукторе 1 закреплена направляющая 10, в которой установлен образный рычаг 11, соединенный с муфтой 7. На направляющей 10 установлен стопор 12 фиксации крайних положений рычага 11. В качестве имитатора автомобильной шины принят подготавливаемый автохозяйством в рейс автомобиль, гайки 13 крепления ступицы 14 колеса 15 на заднем мосте 16 которого входят в пазы 9 буртика 8 муфты 7 при подготовке приспособления к измерению коэффициента сцепления. Входной вал 17 редуктора 1 жестко соединен с радиальным рычагом 18, имеющем шкалу 19, на котором установлен груз 20 с возможностью продольного перемещения. На поверхности 4 закреплена мерная линейка 21 для фиксирования расстояния до оси выходного вала 5 редуктора 1 и домкрат 22 с тензометрическим датчиком 23 для фиксирования нагрузки колеса 15 автомобиля на поверхность 4.

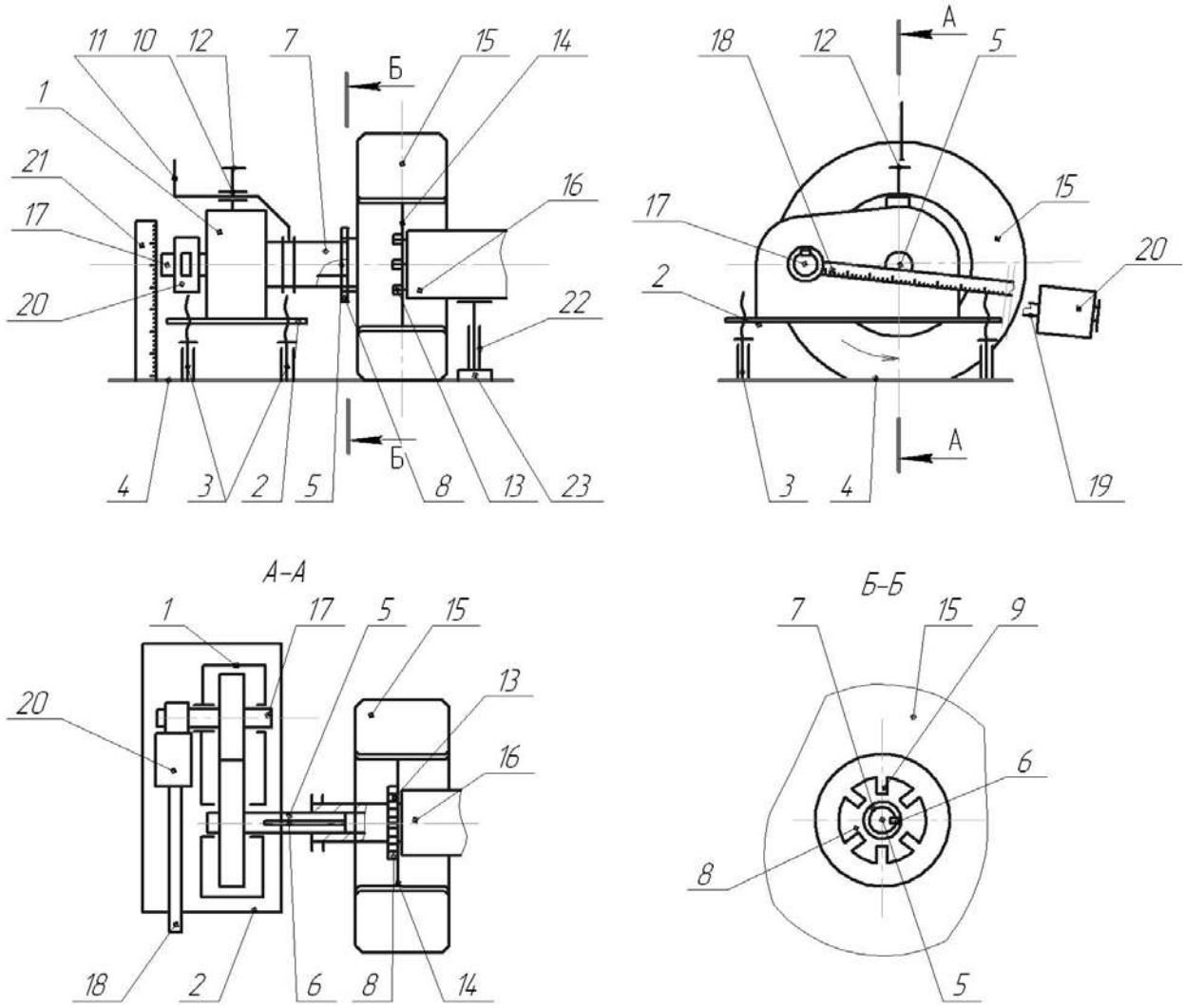


Рис. 1. Стенд для определения коэффициента сцепления автомобильного колеса с дорожным покрытием.

Установкой пользуются следующим образом. Рычагом передвигают муфту по выходному валу и шпонке в крайнее заднее положение и фиксируют его стопором. Автомобиль, подлежащий проверке коэффициента сцепления, заезжает на поверхность, имитирующую дорожное покрытие, и устанавливается так, чтобы ось ступицы колеса заднего моста располагалась против оси выходного вала редуктора. Регулируемыми по высоте опорами, закрепленными на поверхности, устанавливают пластину с редуктором так, чтобы выходной вал с муфтой стал на уровне оси ступицы. При необходимости радиальным рычагом поворачивают входной вал до совпадения радиальных пазов на буртике муфты с гайками крепления ступицы колеса. Затем, освободив стопор, образным рычагом перемещают муфту в направляющей в крайнее переднее положение для установки пазов буртика на гайках и фиксируют рычаг стопором.

Линейкой фиксируют расстояние выходного вала от поверхности, которое соответствует статическому радиусу $r_{ст}$ колеса.

После этого перемещают груз вдоль рычага, жестко закрепленного на входном валу редуктора, до начала проворачивания шестерней указанного входного вала шестерни выходного вала, который проворачивает колесо с проскальзыванием относительно поверхности, имитирующей дорожное покрытие. По положению груза относительно шкалы вычисляют крутящий момент T_{φ} начала проскальзывания колеса. После этого под задний мост автомобиля устанавливают домкрат с тензометрическим датчиком, поднимают его до отрыва шины колеса от поверхности и фиксируют нагрузку P_z.

Для разделения момента сопротивления прокручиванию колеса на момент сцепления колеса с дорогой и момент сопротивления качению необходимо зафиксировать момент сопротивления прокручиванию колеса от начала приложения крутящего момента до момента времени, соответствующего срыву колеса в буксование.

Разность между крутящим моментом сопротивления прокручиванию колеса и моментом сопротивления прокручиванию колеса после

срыва его на буксование и будет являться моментом сопротивления качению.

Выводы.

1. Анализ известных экспериментальных методов определения коэффициента сцепления показал, что они не позволяют получать достоверную информацию о сцепных свойствах шин автомобилей.

2. Предлагаемый способ позволяет повысить точность определения коэффициента сцепления колес с дорогой неподвижного автомобиля, попавшего в дорожно-транспортное происшествие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобільні дороги : ДБН В.2.3-4-2000. – К. : ДерждорНДІ ; Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 117 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Дороги автомобільні. Метод визначення коефіцієнтів зчеплення колеса автомобіля з дорожнім покриттям : ДСТУ Б В.2.3-2-97. – [Чинний від 1997-07-01]. – К. : Державний Стандарт України, 1997. – 6 с.
3. Работа автомобильной шины / [В. И. Кнороз, Е. Б. Кленников, И. П. Петров и др.] ; под ред. В. И. Кнороза. – М. : Транспорт, 1976. – 238 с.
4. Чудаков Е. А. Теория автомобиля / Е. А.Чудаков. – М. : Машгиз, 1950. – 340 с.
5. Раймпель И. Шасси автомобиля. Амортизаторы. Шины и колеса / И. Раймпель ; [пер. с нем. В. П. Агапова]. – М. : Машиностроение, 1986. – 320 с.
6. Литвинов А. С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств : учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.
7. Туревский И. С. Теория автомобиля / И. С. Туревский. – М. : Высшая школа, 2005. – 240 с.
8. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог : в 2 т / А. П. Васильев. – М. : Академия, 2010. – Т. 1. – 320 с.
9. Леонович И. И. Диагностика автомобильных дорог / И. И. Леонович, С. В. Богданович, И. В. Нестерович. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2011. – 350 с.
10. Бабков В. Ф. Проектирование автомобильных дорог / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – М. : Транспорт, 1979. – 367 с.
11. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Сильянов, Э. Р. Домке. – М. : Академия, 2008. – 352 с.
12. Пат. 2156844 Российская Федерация, МПК[7] Е 01 С 23/07, G 01 N 19/02. Устройство для оценки сцепных качеств дороги с твердым покрытием / Л. П. Медрес, А. А. Шестопалов, Э. И. Деникин, А. И. Тимошенко, И. Я. Сац ; заявитель и патентообладатель Медрес Л. П., Шестопалов А. А., Деникин Э. И. – № 98106557/03 ; заявл. 03.04.1998 ; опубл. 27.09.2000.
13. Пат. 2211277 Российская Федерация, МПК[7] Е 01 С 23/07, G 01 N 19/02. Устройство для оценки сцепных качеств дороги с твердым покрытием / Нетеса Ю. Д., Деникин Э. И., Шестопалов А. А., Нетеса А. Д. ; заявитель и патентообладатель Деникин Э. И., Ю. Д. Нетеса. – № 2001134123/30 ; заявл. 13.12.2001 ; опубл. 27.08.2003.
14. Пат. 2227190 Российская Федерация, МПК[7] Е 01 С 23/07. Устройство для оценки сцепных качеств дороги с твердым покрытием / Ю. Д. Нетеса, Э. И. Деникин, А. А. Шестопалов ; заявитель и патентообладатель Э. И. Деникин, Ю. Д. Нетеса. – № 2002102806/03 ; заявл. 31.01.2002 ; опубл. 20.04.2004.
15. Пат. 2244057 Российская Федерация, МПК[7] Е 01 С 23/07. Устройство для измерения коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием / К. Г. Пугин, В. И. Кычкин ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет». – № 2003120809/03 ; заявл. 07.07.2003 ; опубл. 10.01.2005. Бюл. № 1.
16. Пат. 2464373 Российская Федерация, МПК[7] Е 01 С 23/07 (2006.01). Устройство для определения сцепных качеств дорожного покрытия / Э. И. Деникин, Ю. Д. Нетеса, А. А. Шестопалов, Д. С. Тарантин ; заявитель и патентообладатель Тарантин С. А. – № 2011101483/03 ; заявл. 17.01.2011 ; опубл. 20.10.2012. Бюл. № 29.
17. Пат. 2156333 Российская Федерация, МПК[7] Е 01 С 23/07, G 01 N 19/02. Устройство для измерения коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием / С. Е. Полещук, А. Г. Прихода, В. М. Круглов, В. В. Щербаков ; заявитель и патентообладатель Сибирский государственный университет путей сообщения, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья. – № 99115927/30 ; заявл. 15.07.1999 ; опубл. 20.09.2000.
18. Пат. 2211891 Российская Федерация, МПК7 Е 01 С 23/07, G 01 N 19/02. Устройство для определения коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием / Л. Б. Белоногов, В. И. Кычкин, К. Г. Пугин ; заявитель и патентообладатель Пермский гос. техн. университет. – № 2002110679/03 ; заявл. 22.04.2002 ; опубл. 10.09.2003.
19. Пат. 2379408 Российская Федерация, МПК Е 01 С 23/07 (2006.01). Устройство для определения коэффициента сцепления колеса транспортного средства с дорожным и аэродромным покрытием / В. И. Кычкин, К. Г. Пугин, А. В. Кычкин ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет». – № 2008122802/03 ; заявл. 05.06.2008 ; опубл. 20.01.2010. Бюл. № 2.
20. Пат. 2415990 Российская Федерация, МПК Е 01 С 23/07 (2006.01). Устройство для измерения коэффициента сцепления колеса транспортного средства с дорожным и аэродромным покрытием / В. И.

Кычкин, А. В. Кычкин, Д. А. Болотов ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет». – № 2009143857/03 ; заявл. 26.11.2009 ; опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10.

21. Пат. 2134415 Российская Федерация, МПК[6] G 01 N 19/02. Устройство для измерения коэффициента сцепления аэродромного и дорожного покрытия / В. Г. Транквиллевский, С. Е. Аргунов, Ю. Н. Шишкин ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «АВТОВАЗ». – № 97109180/28 ; заявл. 28.05.1997 ; опубл. 10.08.1999. Бюл. № 22.
22. Пат. 2161671 Российская Федерация, МПК[7] E 01 C 23/07 G 01 N 19/02. Способ оценки сцепеных качеств дороги с твердым покрытием / Л. П. Медрес, А. А. Шестопалов, Э. И. Деникин ; заявитель и патентообладатель Л. П. Медрес, А. А. Шестопалов, Э. И. Деникин. – № 98102696/03 ; заявл. 26.01.1998 ; опубл. 10.01.2001.
23. Пат. 2259569 Российская Федерация, МПК[7] G 01 P 15/08. Устройство для определения коэффициента сцепления колеса с аэродромным покрытием / А. В. Низовой, Н. И. Луканов ; заявитель и патентообладатель Низовой А. В., Луканов Н. И. – № 2004101376/11 ; заявл. 08.01.2004 ; опубл. 27.08.2005. Бюл. № 24.
24. Пат. 2298166 Российская Федерация, МПК[7] G 01 N 19/02 (2006.01). Способ определения коэффициента сцепления колеса с аэродромным покрытием / А. В. Низовой, Н. И. Луканов ; заявитель и патентообладатель Низовой А. В., Луканов Н. И. – № 2005138440/28 ; заявл. 09.12.2005 ; опубл. 27.04.2012. Бюл. № 12.
25. Пат. 2388865 Российская Федерация, МПК E 01 C 23/07 (2006.01). Портативное устройство измерения коэффициента сцепления колеса с искусственным покрытием / А. В. Низовой, Н. И. Луканов ; заявитель и патентообладатель Низовой А. В., Луканов Н. И. – № 2009109843/03 ; заявл. 18.03.2009 ; опубл. 10.05.2010. Бюл. № 13.
26. Пат. 2442136 Российская Федерация, МПК G 01 N 19/02 (2006.01). Способ определения коэффициента сцепления колеса с поверхностью искусственного покрытия / Н. И. Луканов ; заявитель и патентообладатель Луканов Н. И. – № 2010140322/28 ; заявл. 01.10.2010 ; опубл. 10.02.2012. Бюл. № 4.
27. Пат. 2279665 Российская Федерация, МПК[7] G 01 N 19/02 (2006.01). Способ определения коэффициента сцепления поверхности дорожного покрытия / Н. А. Лушников, П. А. Лушников, Ю. В. Гвоздков ; заявитель и патентообладатель Государственное предприятие «РОСДОРНИИ». – № 2004138467/28 ; заявл. 28.12.2004 ; опубл. 10.07.2006. Бюл. № 32.
28. Кашканов А. А. Оцінка експлуатаційних гальмових властивостей автомобілів в умовах неточності вихідних даних / А. А. Кашканов, В. М. Ребедайло, В. А. Кашканов. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 148 с.

УДК 629.113.001

Подригало Н. М.

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ И МОЩНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ КОЛЕСНЫХ МАШИН

Представлено дослідження впливу показника нерівномірності індикаторного обертального моменту на показник нерівномірності обертання колінчастого вала й зміну індикаторної потужності чотиритактних автотракторних двигунів внутрішнього згоряння.

Ключові слова: *індикаторний обертальний момент, індикаторна потужність, ступінь нерівномірності обертання колінчастого вала.*

Представлено исследование влияния показателя неравномерности индикаторного крутящего момента на показатель неравномерности вращения коленчатого вала и изменение индикаторной мощности четырехтактных автотракторных двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: *индикаторный крутящий момент, индикаторная мощность, степень неравномерности вращения коленчатого вала.*

Research of influence of an index of non-uniformity of a indicated torque on a degree of non-uniformity of rotation of a bent shaft and change of indicated power of four-cycle auto-tractor explosion engines is presented.

Key words: *an indicated torque, indicated power, a degree of non-uniformity of rotation of a bent shaft.*

Постановка проблемы. Неравномерность крутящего момента, возникающая в двигателе внутреннего сгорания (ДВС), вызывает появление неравномерности хода коленчатого вала и трансмиссии автомобиля (трактора). Неравномерность хода автотракторных двигателей зависит как от неравномерности крутящего момента коленчатого вала двигателя, так и от величины приведенных к нему моментов инерции вращающихся масс трансмиссии автомобиля (трактора).

Анализ последних исследований и публикаций. Причиной появления неравномерности вращения коленчатого вала автотракторного ДВС является неравномерность крутящего момента, характеризующаяся либо степенью неравномерности крутящего момента (K), либо коэффициентом неравномерности крутящего момента (K_1) [1]

$$K = \frac{M_{i\max}}{\overline{M}_i}, \qquad (1)$$

$$K_1 = \frac{M_{i\max} - M_{i\min}}{\overline{M}_i} = K - \frac{M_{i\min}}{\overline{M}_i}, \qquad (2)$$

где $M_{i\ \max}$, $M_{i\ \min}$ – максимальное и минимальное значения индикаторного крутящего момента двигателя;

$\overline{M}_i$ – среднее значение индикаторного крутящего момента двигателя,

$$\overline{M}_i = \frac{M_{i\max} + M_{i\min}}{2}. \qquad (3)$$

В работе [2] на основе данных, приведенных в работе [1], получена аппроксимирующая зависимость, связывающая число цилиндров $i_ц$ двигателя с коэффициентом неравномерности крутящего момента K_1

$$\hat{K}_1 = 0{,}08 + \frac{14{,}44}{i_ц}. \qquad (4)$$

В работе [2] предложена зависимость для моделирования изменения во времени мгновенного значения индикаторного крутящего момента, которая для одноцилиндрового двигателя имеет следующий вид:

$$M_i = \overline{M}_i\left[1 + \frac{K_1}{2}\sin\left(\frac{\overline{\omega}_e}{2}t\right)\right], \qquad (5)$$

где $\overline{\omega}_e$ – средняя (за цикл работы ДВС) угловая скорость коленчатого вала;

t – время.

Очевидно, что если у двигателя количество цилиндров больше одного ($i_ц > 1$), зависимость (5) примет вид:

$$M_i = \overline{M}_i\left[1 + \frac{K_1}{2}\sin\left(\frac{\overline{\omega}_e}{2}i_ц \cdot t\right)\right]. \qquad (6)$$

Для удобства анализа можно разделить левую и правую части зависимости (6) на $\overline{M}_i$.

На рис. 1 приведены кривые изменения крутящих моментов четырехтактных двигателей с различным числом цилиндров, приведенных в работе [3].

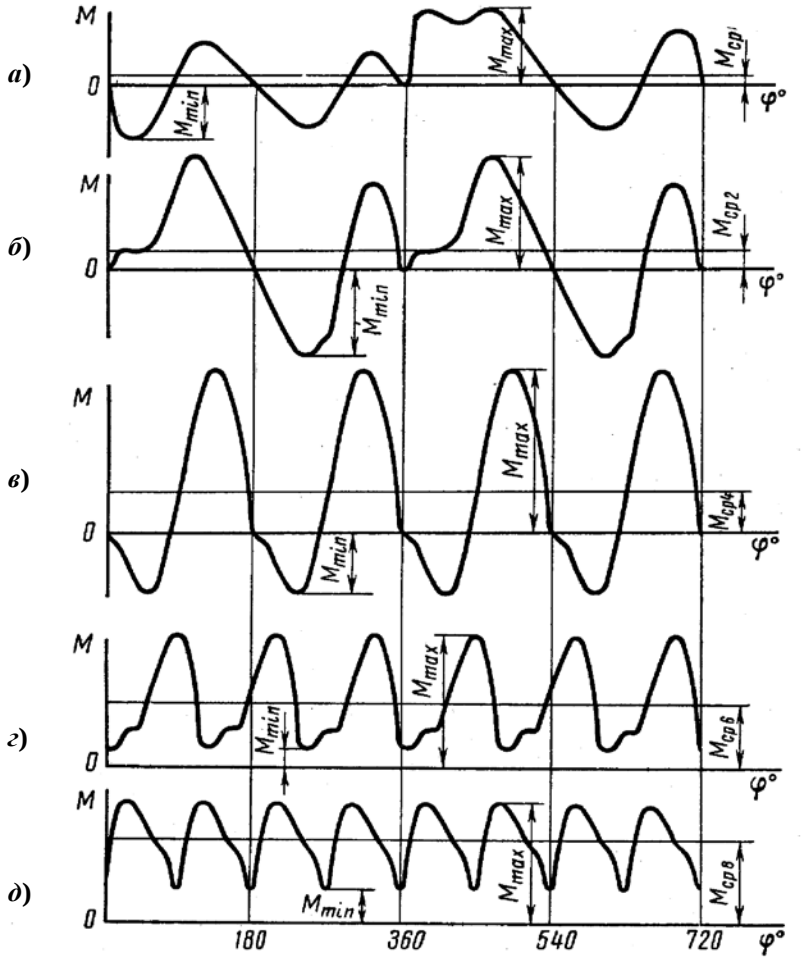


Рис. 1. Кривые крутящих моментов четырехтактных двигателей с различным числом одинаковых цилиндров: *а*) $i_ц = 1$; *б*) $i_ц = 2$; *в*) $i_ц = 4$; *г*) $i_ц = 6$; *д*) $i_ц = 8$.

При исследовании зависимости (5), предложенной в работе [2], а также зависимости (6) графики изменения индикаторных крутящих моментов, отнесенных к их среднему значению, будут иметь вид, представленный на рис. 2.

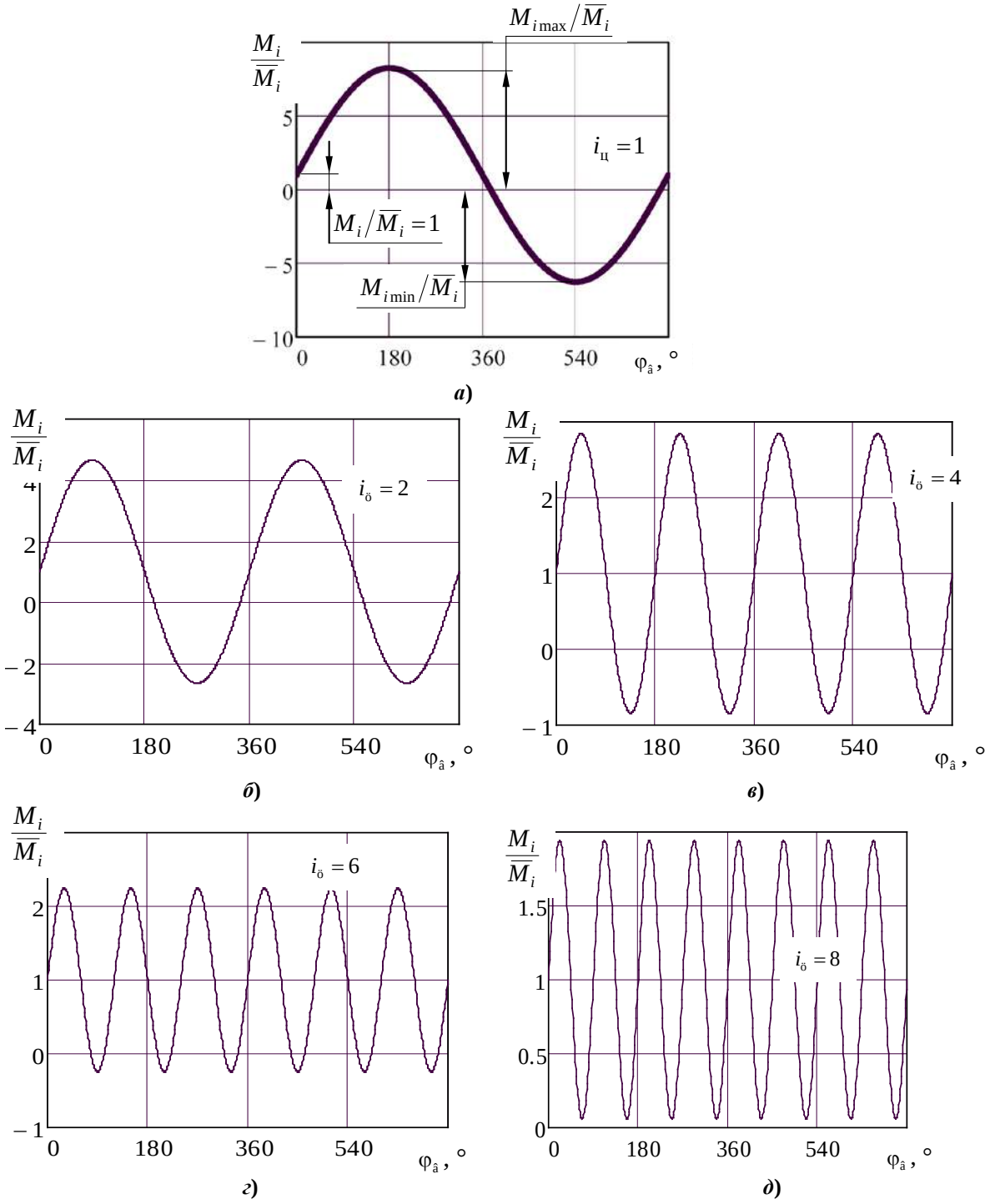


Рис. 2. Графики зависимости $\frac{M_i}{\overline{M}_i} = f(\varphi_â)$, построенные в соответствии с аппроксимирующей зависимостью (6); $\varphi_â = \overline{\omega}_e \cdot t$ – угол поворота коленчатого вала: *а*) $i_ц = 1$; *б*) $i_ц = 2$; *в*) $i_ц = 4$; *г*) $i_ц = 6$; *д*) $i_ц = 8$.

Сравнение графиков, приведенных на рис. 1 и рис. 2, дает возможность сделать вывод о том, что использование аппроксимирующей зависимости (6) позволяет с достаточной точностью моделировать неравномерность крутящих моментов четырехтактных двигателей внутреннего сгорания с различным числом одинаковых цилиндров.

Выражение (6) с учетом (4) примет вид:

$$M_i = \overline{M}_i \left[1 + \left(0{,}04 + \frac{7{,}22}{i_ц} \right) \cdot \sin\left(\frac{\overline{\omega}_e}{2} i_ц \cdot t \right) \right]. \quad (7)$$

Сравнивая графики, приведенные на рис. 2, с графиками, приведенными на рис. 1, можно констатировать, что

- для одноцилиндрового двигателя (рис. 1*а* и 2*а*) наблюдается получение больших как положительных, так и отрицательных значений индикаторного крутящего момента, но имеется асимметрия в пользу положительных значений; с увеличением числа цилиндров асимметрия увеличивается;
- начиная с шестицилиндрового двигателя, кривые не имеют отрицательных значений, за исключением небольших отрицательных значений у моделируемой кривой (рис. 2*г*). Это отличает ее от реальной кривой (рис. 1*г*), т. к. построена она по гармоническому закону.

Таким образом, зависимость (7) в окончательном виде может использоваться для моделирования неравномерности крутящего момента автотракторных ДВС.

Целью исследования является оценка влияния неравномерности индикаторного крутящего момента на неравномерность вращения коленчатого вала и изменение индикаторной мощности четырехтактных автотракторных ДВС.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить угловое ускорение и угловую скорость коленчатого вала двигателя;
- определить закон изменения индикаторной мощности ДВС.

Изложение основного материала. ***Определение угловых скорости и ускорения коленчатого вала двигателя.*** В работе [1] показано, что при неравномерном вращении коленчатого вала уравнение динамики имеет вид:

$$M_i = M_{\text{сопр}} + I_{\text{пр}}^{\text{дв}} \frac{d\omega_e}{dt}, \qquad (8)$$

где $M_{\text{сопр}}$ – суммарный момент сопротивления, учитывающий механические потери в двигателе и сопротивление движению автомобиля (трактора);

$I_{\text{ïð}}^{\text{äâ}}$ – приведенный момент инерции всех вращающихся и движущихся возвратно-поступательно масс двигателя;

ω_e – угловая скорость коленчатого вала.

Изменение M_i, $M_{\text{сопр}}$ и $I_{\text{пр}}^{\text{дв}}$ в течение рабочего цикла ДВС и приводит к появлению неравномерности хода коленчатого вала. Выражение (8) можно уточнить, учтя раздельно влияние трансмиссии и приведенных масс автомобиля (трактора), а также то, что в установившемся режиме движения $M_{\text{сопр}} = \overline{M}_i$

$$M_i = \overline{M}_i + \left(I_{\text{пр}}^{\text{дв}} + I_{\text{пр}}^{\text{тр}}\right)\frac{d\omega_e}{dt}, \qquad (9)$$

где $I_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ – суммарный приведенный к коленчатому валу двигателя момент инерции вращающихся масс трансмиссии и поступательно движущейся массы автомобиля (трактора).

При анализе принято, что потери на трение в механизмах двигателя учтены в величине момента сопротивления $M_{\text{сопр}}$ на коленчатом валу двигателя.

Приведенный момент инерции трансмиссии и поступательно движущейся массы автомобиля (трактора) состоит из суммы двух моментов инерции [2]

$$I_{\text{пр}}^{\text{тр}} = I_{\text{прI}}^{\text{тр}} + I_{\text{прII}}^{\text{тр}}, \qquad (10)$$

где $I_{\text{прI}}^{\text{тр}}$ – приведенный момент инерции вращающихся масс трансмиссии, связанных с коленчатым валом постоянным передаточным отношением;

$I_{\text{прII}}^{\text{тр}}$ – приведенный момент инерции вращающихся масс трансмиссии и поступательно движущейся массы автомобиля (трактора), связанных с коленчатым валом переменным передаточным отношением.

Приведенный момент инерции вращающихся масс трансмиссии, связанных с валом двигателя переменным передаточным отношением, мал в сравнении с приведенным моментом инерции поступательно движущейся массы машины. Следовательно, можно принять допущение, что

$$I_{\text{прII}}^{\text{тр}} \cong \frac{m r_{\text{к}}^2}{u_{\text{о}}^2 u_{\text{к}}^2}, \qquad (11)$$

где m – общая масса автомобиля или трактора;

$r_{\text{к}}$ – кинематический радиус ведущих колес;

$u_{\text{о}}$, $u_{\text{к}}$ – передаточные отношения главной передачи и коробки передач.

Из выражения (9), подставляя в него (10) и (11), определим угловое ускорение

$$\frac{d\omega_e}{dt} = \frac{M_i - \overline{M}_i}{I_{\text{пр}}^{\text{дв}} + I_{\text{прI}}^{\text{тр}} + \dfrac{m r_{\text{к}}^2}{u_{\text{о}}^2 u_{\text{к}}^2}}. \qquad (12)$$

Учитывая уравнение (6), окончательно получим

$$\frac{d\omega_e}{dt} = 0{,}5K_1 \frac{\sin\left(\dfrac{\overline{\omega}_e}{2} i_{\text{ц}} \cdot t\right)}{I_{\text{пр}}^{\text{дв}} + I_{\text{прI}}^{\text{тр}} + \dfrac{m r_{\text{к}}^2}{u_{\text{о}}^2 u_{\text{к}}^2}} \overline{M}_i. \qquad (13)$$

Проведя интегрирование уравнения (13), определим угловую скорость коленчатого вала

$$\omega_e = C - \frac{K_1 \dfrac{\overline{M}_i}{\overline{\omega}_e \cdot i_{\text{ц}}}}{I_{\text{пр}}^{\text{дв}} + I_{\text{прI}}^{\text{тр}} + \dfrac{m r_{\text{к}}^2}{u_{\text{о}}^2 u_{\text{к}}^2}} \cos\left(\frac{\overline{\omega}_e}{2} i_{\text{ц}} \cdot t\right). \qquad (14)$$

Постоянная интегрирования C находится из следующих граничных условий: при $\overline{\omega}_e \cdot i_ц \cdot t = \pi$ величина $\omega_e = \overline{\omega}_e$.

В окончательном виде уравнение угловой скорости коленчатого вала ДВС примет вид:

$$\omega_e = \overline{\omega}_e - \frac{K_1 \cdot \overline{M}_i}{\overline{\omega}_e \cdot i_ц \left(I_{пр}^{дв} + I_{прI}^{тр} + \frac{m r_к^2}{u_o^2 u_к^2} \right)} \cos\left(\frac{\overline{\omega}_e}{2} i_ц \cdot t \right). \quad (15)$$

В уравнении (15) определим амплитуду колебаний угловой скорости коленчатого вала

$$A_\omega = \frac{K_1 \cdot \overline{M}_i}{\overline{\omega}_e \cdot i_ц \left(I_{пр}^{дв} + I_{прI}^{тр} + \frac{m r_к^2}{u_o^2 u_к^2} \right)}. \quad (16)$$

Примем допущение, что

$$\varphi_в \cong \overline{\omega}_e \cdot t. \quad (17)$$

Тогда зависимость (15) можно представить в виде:

$$\omega_e = \overline{\omega}_e - A_\omega \cos\left(\frac{\varphi_в}{2} i_ц \right), \quad (18)$$

где $\varphi_в$ – угол поворота коленчатого вала.

Разделив левую и правую части выражения (18) на $\overline{\omega}_e$, получим

$$\frac{\omega_e}{\overline{\omega}_e} = 1 - \frac{A_\omega}{\overline{\omega}_e} \cos\left(\frac{\varphi_в}{2} i_ц \right). \quad (19)$$

В уравнении (19)

$$\frac{A_\omega}{\overline{\omega}_e} = \frac{\delta_\omega}{2}, \quad (20)$$

где δ_ω – степень неравномерности вращения (хода) коленчатого вала двигателя,

$$\delta_\omega = \frac{\omega_{e\max} - \omega_{e\min}}{\overline{\omega}_e}, \quad (21)$$

где $\omega_{e\ max}$, $\omega_{e\ min}$– максимальная и минимальная угловые скорости коленчатого вала.

Следовательно,

$$\frac{\omega_e}{\overline{\omega}_e} = 1 - \frac{\delta_\omega}{2} \cos\left(\frac{\varphi_â}{2} i_ö \right), \quad (22)$$

Таким образом, степень неравномерности вращения коленчатого вала двигателя может быть определена с учетом соотношения (16)

$$\delta_\omega = \frac{2K_1 \cdot \overline{M}_i}{\overline{\omega}_e^2 \cdot i_ц \left(I_{пр}^{дв} + I_{прI}^{тр} + \frac{m r_к^2}{u_o^2 u_к^2} \right)}, \quad (23)$$

или с учетом (4)

$$\delta_\omega = \frac{\overline{M}_i}{\overline{\omega}_e^2 \cdot i_ц} \cdot \frac{0{,}16 + \frac{28{,}88}{i_ц}}{I_{пр}^{дв} + I_{прI}^{тр} + \frac{m r_к^2}{u_o^2 u_к^2}}. \quad (24)$$

Анализ выражения (24) показывает, что с ростом $\overline{M}_i$ и уменьшением $\overline{\omega}_e$ происходит увеличение степени неравномерности хода коленчатого вала двигателя δ_ω. Увеличение u_o и $u_к$ и также ведет к увеличению δ_ω. С увеличением числа цилиндров $i_ц$ величина δ_ω уменьшается. Увеличение $I_{прI}^{тр}$, $I_{пр}^{дв}$, m и $r_к$ также приводит к уменьшению δ_ω.

Определение индикаторной мощности двигателя. Индикаторная мощность двигателя может быть определена как

$$N_i = M_i \cdot \omega_e. \quad (25)$$

Подставляя выражения для M_i и ω_e из уравнений (6) и (15) в зависимость (25), после преобразований получим

$$N_i = \overline{M}_i \cdot \overline{\omega}_e \left[1 + \frac{K_1}{2} \sin\left(\frac{\overline{\omega}_e}{2} i_ц \cdot t \right) - \frac{K_1 \cdot \overline{M}_i}{\overline{\omega}_e^2 \cdot i_ц \left(I_{пр}^{дв} + I_{прI}^{тр} + \frac{m r_к^2}{u_o^2 u_к^2} \right)} \times \left(\cos\left(\frac{\overline{\omega}_e}{2} i_ц \cdot t \right) + \frac{K_1}{4} \sin\left(\overline{\omega}_e \cdot i_ц \cdot t \right) \right) \right]. \quad (26)$$

Средняя за цикл индикаторная мощность двигателя равна

$$\overline{N}_i = \overline{M}_i \cdot \overline{\omega}_e. \quad (27)$$

Таким образом, выражение (26) с учетом (27), (23) и (17) примет вид:

$$N_i = \overline{N}_i \left[1 + \frac{K_1}{2} \sin\left(\frac{\varphi_в}{2} i_ц \right) - \frac{\delta_\omega}{2} \left(\cos\left(\frac{\varphi_в}{2} i_ц \right) + \frac{K_1}{4} \sin\left(\varphi_в \cdot i_ц \right) \right) \right]. \quad (28)$$

После подстановки (4) в (28) и преобразования окончательно получим

$$\frac{N_i}{\overline{N}_i} = 1 + \left(0{,}04 + \frac{7{,}22}{i_ц} \right) \sin\left(\frac{\varphi_в}{2} i_ц \right) - \frac{\delta_\omega}{2} \left(\cos\left(\frac{\varphi_в}{2} i_ц \right) + \left(0{,}02 + \frac{3{,}61}{i_ц} \right) \sin\left(\varphi_в \cdot i_ц \right) \right). \quad (29)$$

На рис. 3 приведены графики зависимости $\frac{N_i}{\overline{N}_i} = f(\varphi_в)$ при различных значениях степени неравномерности вращения коленчатого вала двигателя δ_ω, находящейся в пределах [0;2]. Указанные пределы являются границами возможных значений степени неравномерности вращения коленчатого вала двигателя. При $\delta_\omega = 0$: $\omega_{e\max} = \omega_{e\min} = \overline{\omega}_e$, т. е. угловая скорость постоянна; при $\delta_\omega = 2$: $\omega_{e\min} = 0$, $\omega_{e\max} = 2\overline{\omega}_e$.

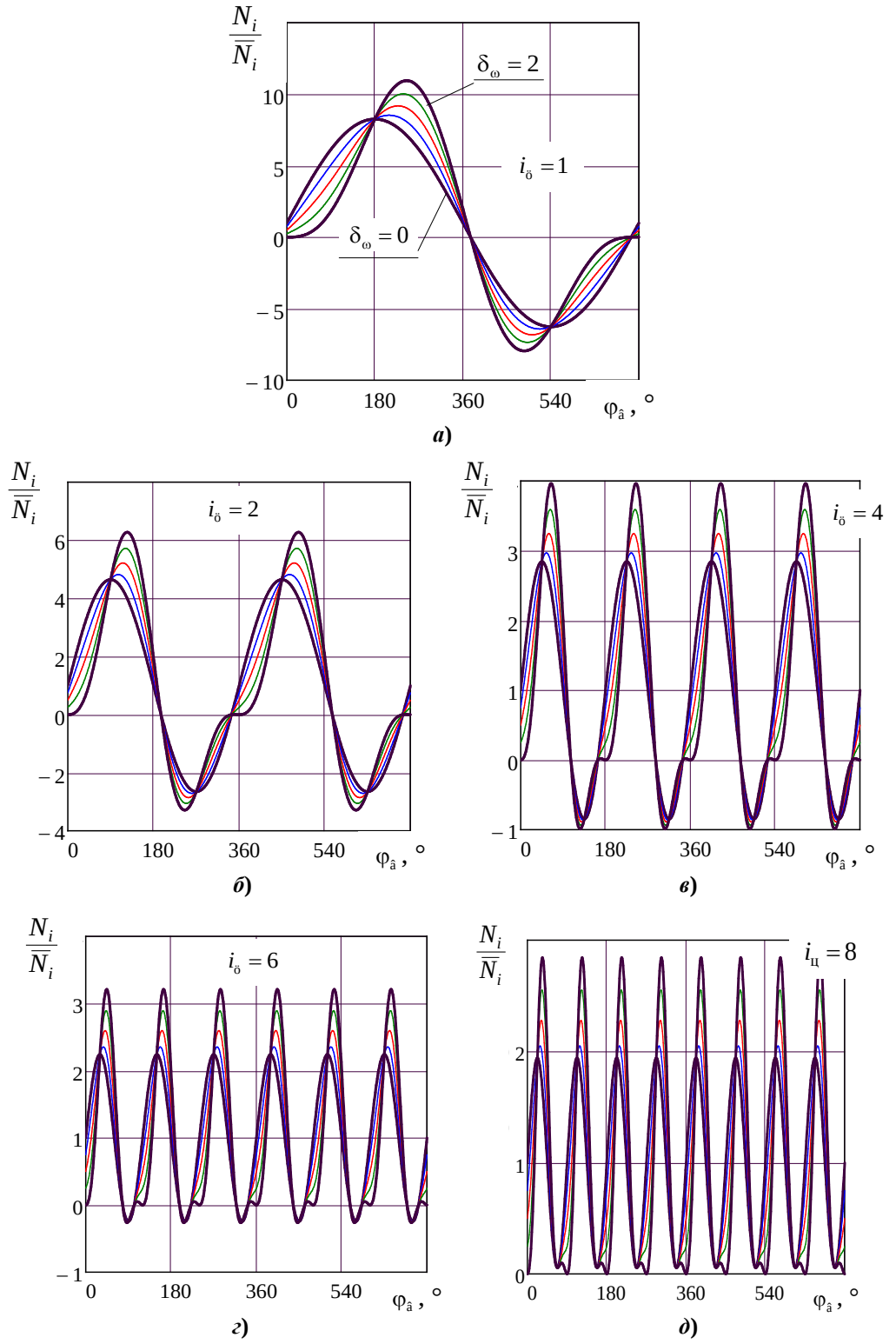


Рис. 3. Графики зависимости $\frac{N_i}{\overline{N}_i} = f(\varphi_â)$, построенные при различных значениях степени неравномерности вращения коленчатого вала δ_ω и количестве цилиндров $i_ц$ двигателя: *а*) $i_ц$ = 1; *б*) $i_ц$ = 2; *в*) $i_ц$ = 4; *г*) $i_ц$ = 6; *д*) $i_ц$ = 8.

Анализ приведенных графиков показывает, что степень неравномерности вращения коленчатого вала ДВС оказывает существенное влияние на характер изменения зависимости $\frac{N_i}{\overline{N}_i} = f(\varphi_в)$.

При $\delta_\omega = 0$ выражение (29) примет вид:

$$\left(\frac{N_i}{\overline{N}_i}\right)_0 = 1 + \left(0{,}04 + \frac{7{,}22}{i_ц}\right)\sin\left(\frac{\varphi_в}{2} i_ц\right), \qquad (30)$$

и в этом случае график функции $\frac{N_i}{\overline{N}_i} = f(\varphi_в)$

представляет собой синусоиду, смещенную в положительном направлении на единицу и имеющую амплитуду равную $\frac{K_1}{2} = 0{,}04 + \frac{7{,}22}{i_ц}$. С увеличением δ_ω увеличивается амплитуда колебаний величины $\frac{N_i}{\overline{N_i}}$ при одном и том же количестве цилиндров $i_ц$.

Выводы. Проведенное исследование позволило определить связь между числом цилиндров, неравномерностью крутящего момента и неравномерностью вращения коленчатого вала ДВС. С ростом среднего индикаторного крутящего момента $\overline{M_i}$ и уменьшением средней угловой скорости вращения коленчатого вала $\overline{\omega_e}$ происходит увеличение значения коэффициента неравномерности вращения δ_ω. С увеличением числа цилиндров $i_ц$ величина δ_ω уменьшается. Увеличение передаточного числа трансмиссии (параметров $u_о$ и $u_к$) приводит к увеличению степени неравномерности хода коленчатого вала двигателя.

Показатель степени неравномерности вращения коленчатого вала ДВС δ_ω оказывает существенное влияние на характер изменения зависимости $\frac{N_i}{\overline{N_i}} = f(\varphi_в)$. С увеличением δ_ω увеличивается амплитуда колебаний величины $\frac{N_i}{\overline{N_i}}$ при одном и том же количестве цилиндров $i_ц$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попык К. Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей / К. Г. Попык. – М. : Высшая школа, 1970. – 328 с.
2. Подригало Н. М. Влияние неравномерности крутящего момента на КПД автотракторных двигателей / Н. М. Подригало // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – 2012. – Вип. № 124. – Т. 2. – С. 118–126.
3. Колчин А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – М. : Высшая школа, 1971. – 344 с.

УДК 629.017

Клец Д. М.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРОТИВ ЗАНОСА

У статті запропонована система на основі нечіткої логіки, яка дозволяє автоматично обмежувати прискорення автомобіля в тяговому режимі руху для забезпечення його стійкості проти заносу з урахуванням дорожніх умов.

Ключові слова: *автомобіль, стійкість, нечітка логіка, занос, прискорення, коефіцієнт зчеплення.*

В статье предложена система на основе нечеткой логики, которая позволяет автоматически ограничивать ускорение автомобиля в тяговом режиме движения для обеспечения его устойчивости против заноса с учетом дорожных условий.

Ключевые слова: *автомобиль, устойчивость, нечеткая логика, занос, ускорения, коэффициент сцепления.*

The paper proposes a system based on fuzzy logic, which allows automatically limit the vehicle acceleration in the traction mode of movement to ensure its stability against skid with the road conditions accounting.

Key words: *vehicle, stability, fuzzy logic, skidding, acceleration, friction coefficient.*

Постановка проблемы. С развитием технологий, применяемых в автомобилестроении, вопросам безопасности, управляемости и устойчивости уделяется все большее внимание. Это обусловлено тем, что в процессе движения автомобиля по дороге с низким коэффициентом сцепления боковая сила, действующая в пятне контакта колеса с дорогой, может достигать значительных величин и приводить к потере устойчивости и возникновению дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Современные требования к адаптивности предполагают создание комплексных систем, наделенных функциями оценки, диагностирования, контроля и защиты всех систем транспортного средства. Одной из мировых тенденций автомобилестроения становится внедрение в систему управления элементов нечеткой логики [1]. Таким образом, актуальным является вопрос повышения устойчивости колесных машин против заноса с использованием систем, работающих на основе нечеткой логики.

Анализ последних исследований и публикаций. Снижение количества ДТП является одной из важнейших задач государственного значения. Ее решение связано с совершенствованием и развитием трех компонентов, образующих единую систему «водитель – автомобиль – дорожная среда» (ВАДС) [2]. В этой системе основная роль принадлежит водителю, который выполняет функции контроля положения автомобиля на дороге, управления скоростью и взаимодействия с другими участниками дорожного движения.

Устойчивость является одним из наиболее важных эксплуатационных свойств, отвечающих за безопасность дорожного движения. Возможным способом реализации систем повышения устойчивости является управление на основе нечеткой логики. В автомобильной промышленности нечеткая логика находит применение в системах впрыска, шумоподавляющих системах, кондиционерах воздуха и при автоматическом переключении передач в трансмиссии [3].

Исследования отечественных и зарубежных ученых [3–6] показывают, что внедрение средств автоматизации управления транспортными средствами позволяет существенно уменьшить риск ДТП и сократить количество аварий, связанных с гибелью людей. Согласно Глобальным техническим правилам № 8 [6], электронные системы контроля устойчивости (СКУ) позволяют значительно снизить число аварий транспортных средств (табл. 1).

Таблица 1.

Снижение вероятности потери контроля над транспортным средством в случае, если оно оснащено электронной СКУ.

Вид транспортного средства	Европа и Япония	США
Одиночные легковые автомобили	34%	71%
SUV	59%	84%

Автор работы [5] указывает на то, что среднестатистический водитель не обладает способностью мгновенно воспринимать неожиданно появляющееся скольжение между колесами и дорогой, при этом его действия по предотвращению ДТП значительно запаздывают и не являются адекватными. Следовательно, человек как инерционное звено в системе ВАДС должен быть освобожден от необходимости выполнения мгновенных (быстрее 0,1 с) действий, за него такие действия должна выполнять бортовая электронная автоматика, подчиненная обычному человеческому восприятию и реальной ситуации движения [5]. Для эффективного торможения система ABS ограничивает давление тормозной жидкости, предотвращая блокировку колес, удерживая коэффициент скольжения S в оптимальных пределах 0,05...0,2 [7] (рис. 1).

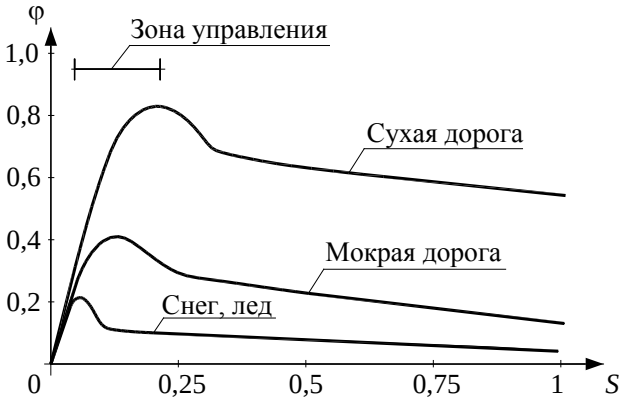


Рис. 1. Зависимость коэффициента сцепления φ от коэффициента скольжения *S*.

Коэффициент скольжения определяется из следующего выражения

$$S = \frac{V_a - V_k}{V_a}, \qquad (1)$$

где V_a – скорость автомобиля;

V_k – линейная скорость точки на радиусе колеса.

Системы ABS большинства производителей настроены на компромиссное значение S = 0,1. Но дорожные условия различные, и на обледенелой дороге S должно быть равно 0,05, а на сухом асфальте – 0,2. В работе [7] автор утверждает, что работа системы ABS существенно улучшается уже при введении шести продукционных правил. Вопросам повышения устойчивости колесных машин посвящены работы [8–10]. Однако в известных исследованиях отсутствуют рекомендации по применению нечеткой логики в системе повышения устойчивости автомобиля против заноса.

Целью статьи является разработка системы повышения устойчивости автомобилей различной компоновки против заноса в тяговом режиме движения с использованием метода нечеткой логики.

Изложение основного материала.

Разработка системы повышения устойчивости автомобиля против заноса в тяговом режиме движения. В работе [9] предложен метод оценки устойчивости автомобилей против заноса, основанный на построении зон устойчивости. Указанные зоны наносятся на график ускорений, полученный из классического тягового расчета. Максимально допустимое по условию сохранения устойчивости линейное ускорение автомобиля $\dot{V}_{уст}^{max}$ определяется из следующей зависимости:

$$\dot{V} \le \frac{\varphi^2 \cdot g \cdot \frac{h - r_д}{L} \cdot \frac{b}{a}}{0{,}5 \cdot \left(\frac{b^2}{a^2} - 1\right) \cdot \left(K_R{}^2 - \varphi^2 \cdot \frac{(h - r_д)^2}{L^2}\right) - \frac{b^2}{a^2} \cdot (K_R - 0{,}5)} - \frac{k \cdot F}{m_a} \cdot V^2 = \dot{V}_{уст}^{max}, \quad (2)$$

где $\dot{V}$ – линейное ускорение автомобиля;
φ – коэффициент сцепления колес с дорогой;
g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;
h – высота центра масс автомобиля;
$r_д$ – динамический радиус колеса;
$k \cdot F$ – фактор обтекаемости;
m_a – масса автомобиля;
L – колесная база автомобиля;
a, b – расстояние от проекции центра масс автомобиля на горизонтальной плоскости до передней и задней оси автомобиля;
K_R – коэффициент распределения касательных реакций.

Построим на примере автомобиля BMW-318 зоны устойчивого движения в зависимости от коэффициента сцепления колес с дорогой (рис. 2).

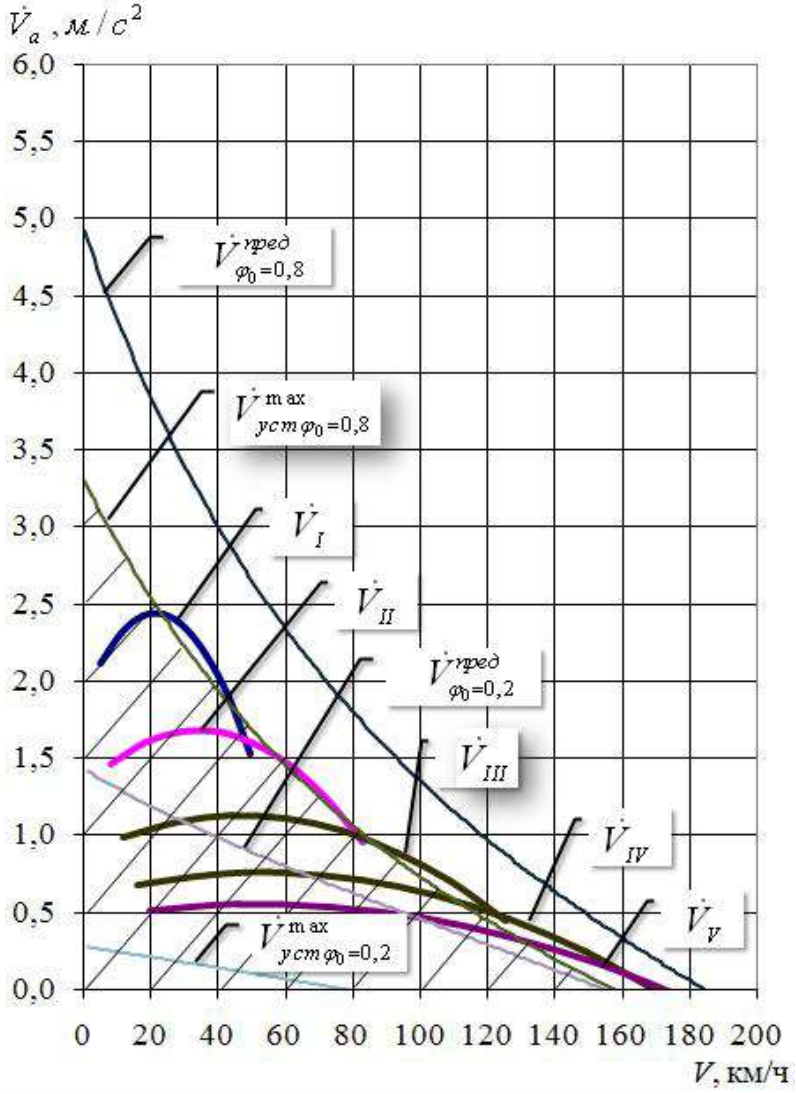


Рис. 2. График ускорений автомобиля BMW-318 при φ_0 = 0,8 (сухой асфальт) и φ_0 = 0,2 (лед); зона устойчивого движения заштрихована.

Анализируя график, изображенный на рис. 2, можно сделать вывод о том, что с ростом φ увеличивается $\dot{V}_{уст}^{max}$. Для исследуемого автомобиля существуют такие режимы движения, при которых развиваемые ускорения превышают максимальные по условию устойчивости. Для предотвращения развития заноса в данном случае можно рекомендовать снижение линейного ускорения и, как следствие, вход в зону устойчивого движения.

Построим функции принадлежности для продольных ускорений испытуемого автомобиля и коэффициента сцепления колес с дорогой (рис. 3).

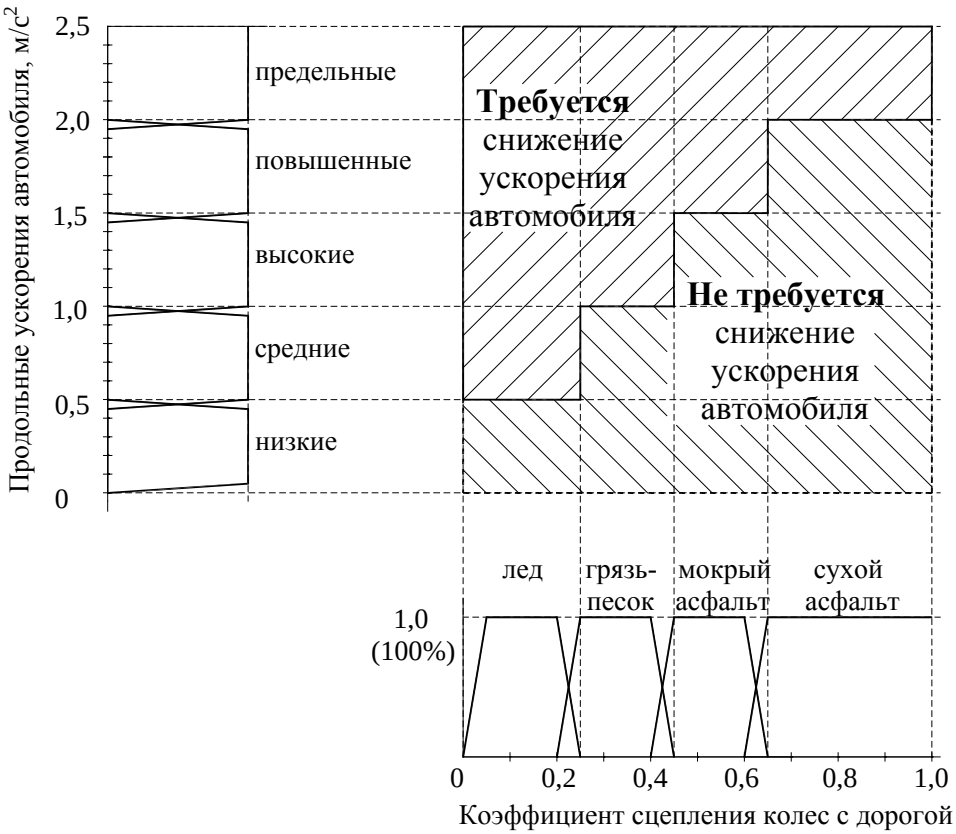


Рис. 3. Функция принадлежности.

Для продольных ускорений введем лингвистические термы: «низкие», «средние», «высокие», «повышенные» и «предельные», а для коэффициента сцепления – «лед», «грязь-песок», «мокрый асфальт», «сухой асфальт». На основе полученных лингвистических термов для входных переменных запишем нечеткие правила вида «если X, то Z». Первая часть правил является входным сигналом, а вторая часть является результатом и соответствует управляющему действию. База нечетких правил имеет следующий вид:

- если коэффициент сцепления колес с дорогой «сухой асфальт» и ускорения «низкие», то снижение ускорений автомобиля не требуется;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «мокрый асфальт» и ускорения «низкие», то снижение ускорений автомобиля не требуется;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «грязь-песок» и ускорения «низкие», то снижение ускорений автомобиля не требуется;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «лед» и ускорения «низкие», то снижение ускорений автомобиля не требуется;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «сухой асфальт» и ускорения «средние», то снижение ускорений автомобиля не требуется;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «мокрый асфальт» и ускорения «средние», то снижение ускорений автомобиля не требуется;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «грязь-песок» и ускорения «средние», то снижение ускорений автомобиля не требуется;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «лед» и ускорения «средние», то требуется снижение ускорений автомобиля;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «сухой асфальт» и ускорения «высокие», то снижение ускорений автомобиля не требуется;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «мокрый асфальт» и ускорения «высокие», то снижение ускорений автомобиля не требуется;

  если коэффициент сцепления колес с дорогой «грязь-песок» и ускорения «высокие», то требуется снижение ускорений автомобиля;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «лед» и ускорения «высокие», то требуется снижение ускорений автомобиля;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «сухой асфальт» и ускорения «повышенные», то снижение ускорений автомобиля не требуется;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «мокрый асфальт» и ускорения «повышенные», то требуется снижение ускорений автомобиля;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «грязь-песок» и ускорения «повышенные», то требуется снижение ускорений автомобиля;

- если коэффициент сцепления колес с дорогой «лед» и ускорения «повышенные», то требуется снижение ускорений автомобиля;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «сухой асфальт» и ускорения «предельные», то требуется снижение ускорений автомобиля;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «мокрый асфальт» и ускорения «предельные», то требуется снижение ускорений автомобиля;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «грязь-песок» и ускорения «предельные», то требуется снижение ускорений автомобиля;
- если коэффициент сцепления колес с дорогой «лед» и ускорения «предельные», то требуется снижение ускорений автомобиля.

Для работы предложенной системы необходимо определять коэффициент сцепления колес с дорогой. Это удобно сделать по аналогии с работой системы Grip Control, которая устанавливается на автомобилях Citroen, Peugeot и других производителей. Внешний вид автомобиля Peugeot 3008, оборудованного системой Grip Control, а также переключателя режимов работы указанной системы, приведен на рис. 4.

***а*)**

***б*)**

Рис. 4. Автомобиль Peugeot 3008, оборудованный системой Grip Control: *а*) внешний вид автомобиля; *б*) переключатель режимов работы системы Grip Control [5].

На Peugeot 3008 предусмотрено 5 режимов функционирования системы Grip Control. Осуществлять выбор водитель может вручную [11].

- ESP ON («Road & Street») – стандартный режим, активируется по умолчанию. Режим предназначен для движения по дорогам с асфальтовым или грунтовым покрытием, а также легкому бездорожью.
- «Снег» (Snow) – для движения по скользким поверхностям, как на дорогах, так и вне их.
- «Грязь» (Mud) – для движения по грязи и колеям.
- «Песок» (Sand, Sable) – для движения по песку.
- ESP OFF – режим дезактивирует все функции, обеспечиваемые электронным блоком управления системы ESP: контроль траектории и буксования колес, в т. ч. Grip Control. Этот режим автоматически деактивируется при скорости свыше 50 км/ч и система переходит в режим «ESP ON». Водитель самостоятельно использует режим «ESP OFF» для движения в индивидуально особых условиях.

Выводы.

1. Система повышения устойчивости автомобиля против заноса, разработанная на основе нечеткой логики, позволяет автоматически ограничивать развиваемые ускорения в тяговом режиме движения с учетом дорожных условий и типа привода ведущих колес.

2. В качестве чувствительных элементов системы могут служить трехкомпонентные акселерометры Freescale Semiconductor модели MMA-7260QT с пределом измерения ±1,5 g.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипов С. И. Нечеткая логика и возможности ее применения в системах управления современного автомобиля / С. И. Антипов, Ю. В. Дементьев, А. Е. Калинин // Материалы международной научно-технической конференции «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». – М. : МГТУ «МАМИ», 2010. – С. 11–20.
2. Малявин А. А. Разработка системы управления движением автомобиля с использованием нечеткой логики : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 05.13.06 / А. А. Малявин. – М., 2011. – 18 с.
3. Шеври Ф. Нечеткая логика / Ф. Шеври, Ф. Гели // Техническая коллекция Schneider Electric. МКР-TECHCOL31. Вып. № 31. – 2009. – 32 с.
4. Altrock C. Fuzzy Logic in Automotive Engineering / Constantin von Altrock // Circuit cellar INK. Computer application magazine. – Santa Clara, 1997. – 9 p.
5. Förster H. J. Der Fahrzeugfurer als Bindeglied zwischen Reifen. Fahrwerk und Fahrbahn / H. J. Förster // VDI Berichte, Nr. 916. – 1991.

6. Глобальные технические правила № 8. Электронные системы контроля устойчивости (ESE TRANS 180). 2008. – 116 с.
7. Соснин Д. А. Новейшие автомобильные электронные системы : учеб. пособие для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей / Д. А. Соснин, В. Ф. Яковлев. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.
8. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А. С. Литвинов. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.
9. Подригало М. А. Определение устойчивости автомобиля против заноса при движении в тяговом режиме / М. А. Подригало, Д. М. Клец // Вісник НТУ «ХПІ». Автомобіле- та тракторобудування. – 2007. – Вип. 12. – С. 127–136.
10. Динамика автомобиля / [М. А. Подригало, В. П. Волков, А. А. Бобошко и др.]. – Харьков : Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 2008. – 426 с.
11. Заборщиков В. Grip Control – сцепление под контролем [Электронный ресурс] / В. Заборщиков // Российский автомобильный портал «5 колесо». – 28.11.2009. – Режим доступа : http://www.5koleso.ru/articles/Tehnika/Grip_Control_Stseplenie_pod_kontrolem.

УДК 629.331:502.3

Халилов В., Менасанова С. Э., Абдулгазис У. А.

ВОЗМОЖНОСТИ АДАПТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ К ТОПЛИВУ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ

Визначено деякі можливості зниження впливу підвищеного вмісту сірки в дизельному паливі на попередження та стримування кислотного впливу на двигун з системою рециркуляції вихлопних газів.

Ключові слова: *вміст сірки в дизельному паливі, дизельний двигун, система рециркуляції, знос, вихлопні гази.*

Определены некоторые возможности снижения влияния повышенного содержания серы в дизельном топливе на предупреждение и сдерживание кислотного воздействия на двигатель с системой рециркуляции выхлопных газов.

Ключевые слова: *содержание серы в дизельном топливе, дизельный двигатель, система рециркуляции, износ, выхлопные газы.*

Identified several opportunities to reduce the impact of increasing the sulfur content in diesel fuel for the prevention and containment of acid treatment on the engine with exhaust gas recirculation.

Key words: *sulfur content in diesel fuel, diesel engine, the recirculation system, wear, exhaust emissions.*

Постановка проблемы. Известные разработчики грузовых автомобилей своевременно приступили к решению ряда вопросов по совершенствованию двигателей и систем очистки отработанных газов на соответствие требуемым показателям ЕВРО 6 [1], вступающих в действие в ЕС после продления сроков с 2015 года. Достичь высоких результатов разработчикам удалось в основном за счет совместного применения системы селективной каталитической нейтрализации (SCR) и систем рециркуляции выхлопных газов (EGR) (только Iveco не использовало совмещение с EGR) [2]. Это позволило в целом снизить расход амиакообразующей жидкости AdBlue и сохранить высокие показатели экономичности расхода топлива. По данным источника [1], потребление жидкости AdBlue составляет 1,3 л/100 км, или 4% от расхода топлива. Для модульной системы BlueTec, разработанной Mercedes-Benz для снижения токсичности отработавших газов, на базе использования только SCR расход AdBlue увеличился примерно на 1/3 и составил 5–7% от расхода топлива, или 1,7 л/100 км. Сочетание систем EGR и SCR было рассчитано для условий использования дизельного топлива с ультранизким и низким содержанием серы в пределах, не превышающих 15 ppm.

Сера – крайне нежелательный элемент для топлива. Серная кислота H_2SO_4, образующаяся в термохимических реакциях в двигателе, вызывает коррозию поверхностей нагрева камеры сгорания (КС), блокирует поверхности катализаторов после выхода, снижает качество смазки, попадая в атмосферу, вредно действует на живые организмы и растительность.

При наличии избыточного воздуха в КС происходит окисление SO_2 до SO_3 с выделением тепла, с последующим образованием при охлаждении в процессе выпуска конденсата серной кислоты H_2SO_4. Пары H_2SO_4 значительно повышают температуру точки росы (до 140–150°С) процесса ее конденсации, тем самым сдерживают возможность снижения температуры рециркуля-

ционных газов системы EGR. В предыдущих своих исследованиях автору [3] приходилось изучать механизм и вредные последствия коррозионного воздействия серы, содержащейся в дизельном топливе, на огневую поверхность цилиндров дизельного двигателя. Понимание процессов, происходящих в камере сгорания, и активное применение систем EGR на современном этапе развития двигателестроения вызывают необходимость продолжения начатых изысканий по возможности адаптации современных двигателей к эксплуатационным условиям, где существует значительный риск заправки автомобиля дизельным топливом с повышенным содержанием серы.

Как показали проведенные исследования [4], качество реализуемого дизельного топлива (ДТ), оцениваемого как класс 1, вид 1 и марка F, вид 1, в конце 2010 года количественно соответствовало нормам 10 мг/кг. Топлива марки F, вид 2 содержало серы 24–50 мг/кг, а марки 3-0.05-(-25) – 61–340 мг/кг. Исследования проводились по разным методикам. Образцы проверяли на соответствие топлива видов I и II нормам нового ДСТУ 4840:2007, а простого дизельного топлива – нормам старого ДСТУ 3868-99.

Последние результаты исследований 2013 года [5] зимнего ДТ показали тенденцию улучшения показателя содержания серы. Для марки F, вид 1 – 5 мг/кг, марки Е, вид 1 – 10 мг/кг, марки Е, вид 11 – 38 мг/кг, класса 1, вид 1 – 5–10 мг/кг и класса 1, виды 11–23 – 32 мг/кг. Это значительно улучшенные показатели для внутреннего потребительского рынка Украины. По данным [6], сверхнормативное содержание серы в некоторых пробах для летних видов ДТ достигало 110–1416 мг/кг.

Объем публикаций, характеризующий качество дизельного топлива в Украине, незначителен, и существует вероятность, что реальная картина вызвала бы неодобрение потребителей. Перевозчики товаров на большегрузных автомобилях были и так в нелегком положении из-за отсутствия гарантий нормативного содержания серы в дизельном топливе на магистральных заправках. Теперь ситуация усугубилась еще за счет введения в Европе экологически чистых зон пониженных выбросов (LEZ) [1], где транспортная связь должна будет осуществляться с ограничениями выбросов двигателя в окружающую среду по нормативным требованиям ЕВРО 6. Проблема заключается в том, что в системах очистки отработанных газов (ОГ) двигателя с системой EGR в рециркулируемых газах, образующихся при сгорании ДТ с высоким процентом содержания серы, на теплообменнике интенсивно образуется H_2SO_4.

Практика эксплуатации грузовых автомобилей MAN [1] с двигателями, оснащенными EGR, обеспечивающими соответствие нормативам выбросов вредных веществ в окружающую среду ЕВРО 4, выявило снижение межремонтного ресурса до 120…200 тыс. км пробега. Износ деталей, образующих КС, показал наличие признаков коррозионного износа. В связи с этим известные производители были вынуждены в свое время остановить поставку новых грузовых автомобилей с двигателями с EGR, которые соответствовали требованиям ЕВРО 4 [1].

Необходимость заправки в Украине дизельным топливом европейского качества с каждым годом растет, но организация непрерывного мониторинга качества топлива у эксплуатационников вызывает сомнения. Возможности успешной эксплуатации автомобилей нового поколения с дизельными двигателями, обеспечивающими соответствие требованиям EURO 6, тем более вызывает у поставщиков и эксплуатационников сомнения. Это будет сдерживать развитие товарообмена с европейскими странами. Поэтому возникают проблемы адаптации конструкций автомобилей и продавцов дизтоплива к новым требованиям.

Анализ литературы. В работе [7] автор, анализируя условия работы двигателей D20 тягача TGX MAN с системой EGR, обеспечивающей уровень очистки выхлопных газов по EURO 4, приходит к мнению, что повышенное содержание в топливе серы, достигаемой 200 ppm и более (при рекомендуемых 10–15 ppm), приводит к снижению ресурса работы двигателя до 100–200 тыс. км. Это происходит, по утверждению автора, из-за разрушения поршневых колец, наличия сажи с маслом во впускном коллекторе и сопровождается повышенным расходом масла. Возникает это вследствие охлаждения выхлопных газов, содержащих оксиды серы, смешанные с парами воды. Образующаяся при этом серная кислота разрушающе действует на теплообменник и далее на детали двигателя, образующих КС. Кроме того, в исследованиях [3] автор пришел к выводу, что в самом цилиндре существуют условия для образования H_2SO_4 за счет серы, содержащейся в топливе на переходных режимах работы дизельного двигателя без системы EGR. Установлено, что при значительном набросе нагрузки на дизель за счет тепловой инерционности идет более чем двухсекундное отставание изменения температуры тепловоспринимающей поверхности цилиндров от процессов в КС. Это ведет к образованию очень тонкой пленки влаги на огневой поверхности гильзы в результате адсорбционной и капиллярной конденсации. В этом случае газовая корро-

зия переходит в более агрессивную – электрохимическую коррозию на огневой поверхности цилиндра. Высокая вероятность перехода газовой коррозии в электрохимическую в верхнем поясе зеркала цилиндра возникает и при малых нагрузках двигателя, близких к режиму холостого хода. Температура конденсации влаги для номинальных режимов дизеля (P_e = 0,796 МПа) составила 148ºС, для холостого хода – 105ºС [3].

Исследователи [8] также обратили внимание на последствия высокого содержания серы в топливе для дизельного двигателя. Лабораторные исследования показали, что при содержании в дизельном топливе серы 15 ppm, опытный образец малоуглеродистой стали, внедренный в зону подачи смешанного воздуха с выхлопными газами системы EGR, не подвергся значительной коррозии. С возрастанием содержания серы в дизельном топливе до 350 ppm результаты изменились в сторону увеличения скорости коррозии образца. Анализы, проведенные с помощью ионной хроматографии, выявили присутствие H_2SO_4, поступающей в камеру сгорания. По условиям эксперимента конденсация H_2SO_4 происходила при температурах 150ºС и воды при – 25–30ºС. Было также установлено возрастание скорости коррозии образца с увеличением уровня конденсата сульфата. Эксперименты показали, что два фактора наиболее влияют на скорость коррозии: уровень содержания серы в топливе и начало конденсации воды. Поэтому необходимо контролировать эти условия и не допускать конденсации воды. Низкий уровень концентрации нитратов и сульфатов в конденсате не создают условия для высокого уровня коррозии на образцах внутри конденсата.

Исследования [9] показывают, что при изучении кислотных воздействий выхлопных газов необходимо обращать внимание не только на бинарные соединения, но и на тройные соединения нитратов и сульфатов с конденсированной водой на элементах теплообменника. Выявлено, что азотной кислоты образуется на порядок больше, но воздействие на коррозию оказывает сильнее H_2SO_4. Объясняется это тем, что точка росы в исследованиях бинарной системы HNO_3/H_2O – 56ºС и H_2SO_4/H_2O – это 115ºС. Предполагается, что HNO_3 практически находится в газообразном состоянии и воздействие его слабее. Существует точка росы тройной смеси H_2O, H_2SO_4 и HNO_3, и она выше точки росы двоичной системы HNO_3/H_2O. Поэтому необходимо поддерживать температуру ОГ свыше 150ºС. В исследованиях [9] обращается внимание на то, что конверсия газа SO_3 в состояние H_2SO_4 уже происходит при температуре 400ºС и завершается при 170º–180ºС. При температуре 350ºС конверсии подвергается практически более 50% SO_3 в газообразную серную кислоту. Избыток воздуха составлял порядка 1–2%. Сдерживающим фактором увеличения процента конденсации H_2SO_4 является снижение содержания кислорода, иначе говоря, как ни парадоксально, необходимо увеличить рециркуляцию выхлопных газов, балансируя в состоянии минимального содержание кислорода в камере сгорания.

Исследования [10] выявили, что образование SO_2 и SO_3 в камере сгорания способствует увеличению скорости, количества и размеров формирующихся твердых частиц углерода. Изучение процессов формирования углеродных наночастиц в дизельных двигателях было проведено в исследованиях [11]. Был выявлен существенный факт, что концентрация ионов в выхлопных газах дизельного двигателя недостаточна и не влияет на процесс образования углеродных наночастиц, но зависит от присутствия нитратов и сульфатов. При увеличении концентрации этих ионов углеродных наночастиц в проведенных опытах образуется гораздо меньше. Необходимо обратить внимание на этот фактор и попытаться увеличить ионное содержание за счет ионизации рециркулируемых газов.

В работе [12] также исследовалась роль бинарной системы H_2SO_4/H_2O в образовании летучих наночастиц углерода в автомобильных выхлопных газах при условиях содержания серы в топливе в пропорциях: 330, 100 и 50 частей на миллион, ppm. Исследования показали значимость содержания серы в топливе на процесс образования летучих наночастиц углерода во всех случаях по возрастающей. Только в топливе с ультранизким содержанием серы не наблюдалось его влияния на образование летучих наночастиц углерода.

В ранних исследованиях [13] дизельного двигателя с системой очистки выбросов по нормам EVRO 6 грузового тягача теоретически и лабораторно было выявлено, что на размеры и количество образуемых твердых частиц (PM) влияет содержание серы в топливе даже в концентрации 10–50 ppm. Увеличение влажности выхлопных газов с 10% до 90% привело к шестикратному увеличению количества твердых частиц в выхлопных газах. Анализируя принципы подачи рециркулируемых газов в дизеле, в работе [14] выявили необходимость снижения его давления. Высокое давление и низкая температура рециркулируемых газов способствует конденсации газов. Анализы выхлопных газов на хроматографе выявили нитраты и значительное содержание сульфатов. В случае отсутствия

гарантий качества ДТ по содержанию серы желательно давление рециркулируемых газов поддерживать на низком уровне.

Авторы [15] обратили внимание на процесс смешивания выхлопных газов с воздухом и тенденции образования наночастиц в присутствии воды и серной кислоты. Моделирование изучаемого процесса выявило нежелательность резкого смешивания потоков воздуха с выхлопными газами, стимулирующего процесс образования наночастиц углерода. Высокое содержание серы в топливе способствовало процессу образования наночастиц. Температура рециркулируемых газов, возвращаемых в КС, имеет существенное значение для снижения образования компонента NO_x.

Результаты исследований [16] показывают, что холодные газы EGR гораздо эффективнее, чем горячие, для снижения выбросов NO_x. На этом основании можно сделать вывод: температуру выхлопных газов в системе EGR желательно при охлаждении в теплообменнике системы поддерживать низкой, но выше уровня конденсации серной кислоты и тем более воды. Это не простой процесс, так как связан с присутствием других компонентов происходящей термохимической реакции и изменчивостью нагрузки на двигатель.

Управлять и влиять на процессы, происходящие в КС двигателя для стабильного снижения влияния содержания серы в топливе, как показывают исследования [17], достаточно сложно как на теоретическом, так и практическом уровнях, сложно также учитывать наличие множества факторов, влияющих на происходящие термохимические реакции. Количественное увеличение поступления выхлопных газов в камеру сгорания через систему EGR ведет в определенных пределах к снижению уровня образования NO_x, но, как показывают исследования [18], при этом изменяется соотношения компонентов NO_x, HC и CO и увеличиваются количественно содержания HC и CO в выбросах в окружающую среду. Обобщенные данные анализа литературы в исследованиях [18] показывают (табл. 1) тенденцию образования и конденсацию H_2SO_4 в зависимости от снижения температуры по пути следования выхлопных газов в систему EGR.

Таблица 1.

Процесс образования H_2SO_4 и бинарной системы H_2SO_4/H_2O.

Температура, ^oC	Происходящая реакция	Место прохождения
~2000	$S_{(г)} + O_{2\,(г)} \rightarrow SO_{2\,(г)}$	Камера сгорания
~700	$SO_{2\,(г)} + ½\ O_{2\,(г)} \rightarrow SO_{3\,(г)}$; $SO_{3\,(г)} + H_2O_{\,(г)} \rightarrow H_2SO_{4\,(г)}$	Выпускной коллектор
~150	$H_2SO_{4\,(г)} \rightarrow H_2SO_{4\,(ж)}$	Теплообменник EGR
~40–60	$H_2O_{\,(г)} \rightarrow H_2O_{\,(ж)}$	

Проведенный анализ литературы показал, что использование ДТ с высоким содержанием серы в дизельных двигателях, оснащенных системой EGR, вызывает повышенный износ двигателя, образование нагара на выхлопных клапанах [19], уменьшает эффективность катализаторов, работоспособность датчиков системы очистки отработанных газов, формирует скорость возникновения вредных наночастиц углерода, отводящихся затем в окружающую среду. Необходимо отметить, что в изученной литературе, охватывающей и последний период времени [18], не раскрываются корреляции скорости коррозии с влажностью, а также с параметрами системы EGR.

Целью работы является изыскание технических возможностей определения высокого уровня содержания серы в дизельном топливе, поступающем в двигатель, и адаптации систем очистки выхлопных газов к условиям, препятствующим образованию конденсата H_2SO_4 в EGR.

Изложение основного материала. Обратимся к происходящим термохимическим процессам в системе EGR и рассмотрим возможные способы препятствования процессам коррозионного износа деталей двигателя кислотным воздействием.

Одним из возможных путей препятствования процессу кислотной коррозии при эксплуатации двигателя на топливах с высоким содержанием серы – это создание в системе EGR условий, препятствующих конденсации H_2SO_4 в первую очередь на поверхности теплообменника, а также при смешивании рециркулируемых газов с охлажденным воздухом, нагнетаемым в КС. При этом желательно снизить давление рециркулируемых газов, что в свою очередь способствует снижению температуры точки росы конденсации H_2SO_4.

Технически решение осуществляется путем подачи рециркулируемых газов в область сниженного давления потока воздуха, нагнетаемого в камеру сгорания, и желательно проводить смешивание потоков с минимальной турбулентностью для минимизации процесса конденсации. Температуру рециркулируемых газов необходимо поддерживать при этом не ниже 150ºC, не допуская конденсации паров воды в теплообменнике. Контактный материал теплообменника и его конструкция должны функционально

иметь возможность поддерживать необходимую температуру.

Учитывая, что режимы запуска и остановки двигателя благоприятны для конденсации H_2SO_4, конструкция должна обладать защитой от кислотной коррозии и накопителем-изолятором конденсатов. Кроме того, теплообменник должен обладать конструктивной возможностью управления температурой поверхности для препятствования процессу конденсации. Эта задача достаточно непростая. Необходимо отметить, что эти меры направлены на защиту камеры сгорания от коррозионного износа, но в целом содержащаяся сера в топливе окажет свое агрессивное воздействие на различные датчики и дорогие материалы катализаторов по пути следования [18]. Также необходимо помнить, что повышение температуры рециркуляционных газов ведет к повышению тепловой нагрузки двигателя, что не всегда приемлемо для форсированных двигателей.

Как отмечалось выше, качество топлива имеет тенденцию к улучшению, но вероятность заправки топливом с повышенным содержанием серы остается высокой. Поэтому существует необходимость и потребность в адаптированной системе EGR к изменчивым условиям эксплуатации. Очень важно в режиме эксплуатации получать объективную информацию о качестве поступающего топлива в двигатель. Для этого необходимо ввести в двигатель (1) специальный датчик (4), определяющий наличие конденсатов газа H_2SO_4 в теплообменнике (2) системы EGR (рис. 1). По показаниям датчика можно будет определять уровень содержания серы в топливе. Показания датчика необходимо дублировать визуально для предупреждения водителя и принятия им решений.

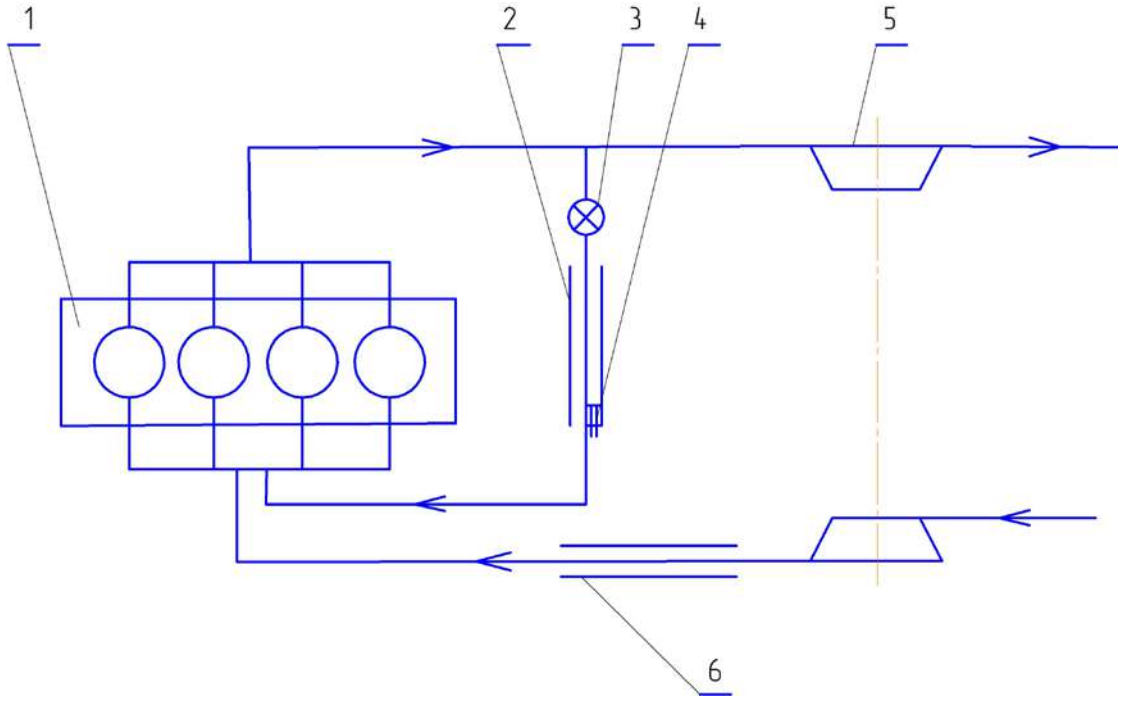


Рис. 1. Схема установки датчика определения наличия H_2SO_4 в EGR:
1 – двигатель; 2 – теплообенник системы EGR; 3 – клапан управления перепуска отработанных газов;
4 – датчик для определения наличия конденсата H_2SO_4; 5 – турбокомпрессор;
6 – теплообменник турбокомпрессора.

В качестве датчика (4) предлагается использовать пару электродов из меди и цинка в микронакопителе конденсата H_2SO_4, обрамленного защитой от отложений и нагара. Создаваемая разность потенциалов электродов порядка один вольт характерна для показателей конденсата H_2SO_4. При сокращении конденсации H_2SO_4 разность потенциала датчика уменьшится за счет преобладания доли азотной кислоты HNO_3. Как показали экспериментальные исследования [8], наибольшая вероятность накопления конденсата на поверхности волнообразного теплообменника в зонах завихрений, где, вероятно, интенсивнее происходит каплеобразование за счет гидродинамических особенностей внутреннего и внешнего потоков, ускоряющих теплообменные процессы. Достаточно объективно можно определять изменения содержания серы в топливе виртуально – по тенденции снижения температуры в камере сгорания. Так как H_2SO_4 является ингибитором процесса горения, периодичность очистки фильтра DPF увеличивается, а

температура отработанных газов уменьшается на всех режимах работы. Изменения происходят и в повышении интенсивности включения в режим температурной очистки катализатора LNT путем повышения интенсивности переключений двигателя в режим нагрузки.

Представленная на рис. 1 упрощенная схема системы EGR рассчитана стабилизировать температуру и учитывать уровень концентрации конденсированных кислотных паров и температуру отработанных газов с коррекцией данных для холодного запуска двигателя, когда конденсация H_2SO_4 наиболее активна. Особое внимание должно быть уделено конструкции и материалу теплообменника. Исследования [20] показывают, что от параметров и конфигурации теплообменника значительно зависят эффективность и стабильность его работы, появление различных образований на его поверхности, что очень важно для снижения интенсивности формирования на его поверхности и отводящих трубопроводов конденсата H_2SO_4 в капельной форме. Сложности адаптации двигателя к дизельному топливу с высоким содержанием серы прибавляют и инновации в системе EGR. С 2008 года для внутреннего рынка США стали ограниченно производить автомобиль VW Passat 2.0L TDI с комбинированной системой высокого и низкого давления (HPL/LPL) EGR на двигателе HDD [21] с целью достижения очень низких выбросов NO_x и устранения необходимости в целом таких систем восстановления, как SCR и LNT.

Осуществление управления потоками рециркулируемых газов по маршрутам высокого (HPL-EGR) и низкого (LPL-EGR) давления, имеющих разные температуры нагрева, позволяет также предотвращать кратковременные падения давления в системе воздухоподачи и EGR путем смешивания воздуха и отработанных газов [22; 23], а при необходимости вводится и гибридный маршрут [24]. Маршрут LPL-EGR отводится на теплообменник после сажевого фильтра (DPF) (рис. 2) и отличается сравнительно низкими температурами, исключая моменты включения режимов температурной очистки.

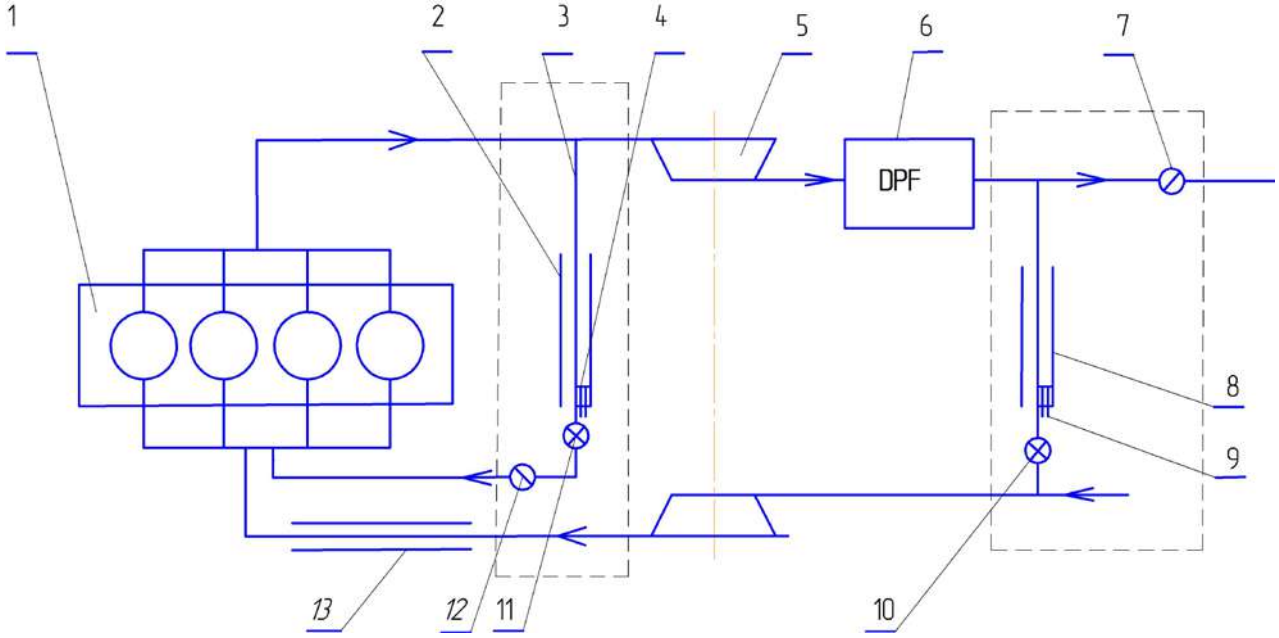


Рис. 2. Схема осуществления коррекции управления потоками отработанных газов двигателя по маршрутам HPL-EGR и LPL-EGR от данных датчиков кислотности:
6 – сажевый фильтр DPF; 7 – заслонка; 8 – теплообменник LPL-EGR; 9 – датчик кислотности;
10, 11 – клапаны регулирования давления отработанных газов; 12 – заслонка управления;
13 – теплообменник турбокомпрессора.

Маршрут LPL-EGR занимает больший путь и значительно может увеличить вероятность конденсации паров H_2SO_4 даже с учетом того, что пониженное давление способствует поддержанию H_2SO_4 в газообразном состоянии. Наличие встроенного датчика (9) определения кислотности позволит подать команду на блокирование маршрута в соответствии с введенным протоколом коррекции для системы управления двигателем [25]. Теоретически существует возможность использования для этого датчика давления в камере сгорания. Являясь ингибитором, H_2SO_4 снижает температуру горения в КС, что может послужить косвенной информацией для управления при оценке тепловыделения систем с высоким уровнем рециркуляции отработанных газов [26]. Маршрут LPL-EGR с большой вероятностью можно адаптировать к использованию

топлива с повышенным содержанием серы в случае, когда отработанные газы поступают в окружающую среду только через фильтр DPF. Выхлопные газы, содержащие H_2SO_4, проходя по маршруту LPL-EGR (рис. 2), очищаются на сажевом фильтре (6) от микроскопических частиц диаметром приблизительно 0,05 мкм. Ядро частицы состоит [27] из чистого углерода, а на нем адсорбируются различные углеводородные соединения, оксиды металлов и сера. Источник [28] указывает, что молекулы SO_3 по величине соизмеримы с наночастицами углерода, растворенными в парах воды, присутствующих в отработанных газах. Частицы SO_3, растворенные в парах воды, соединяются с крупными на порядок и более частицами углерода. Аналогично происходит соединение соразмерных частиц углерода с водой. Вот такая модель химического агломерата в условиях высокой температуры задерживается на фильтре DPF.

Приведенные данные показывают возможность использования маршрута отработанных газов LPL-EGR с фильтром DPF как путь в «ловушку» для серы и его газообразных соединений, конденсатов (H_2SO_3, H_2SO_4). Накопленная, насыщенная сажа функционально циклично удаляется термическим способом, но при этом управляющий клапан 10 (рис. 2) должен направить поток газов на выпуск. Система EGR в этот период очистки должна функционировать по маршруту HPL-EGR. Предлагаемая адаптированная схема работы может предохранять двигатель в течение кратковременного периода работы. Она не рассчитана на постоянный режим эксплуатации, так как в системе не предусмотрено использование катализаторов, и в окружающую среду попадут непереработанные оксиды, а вся система очистки выйдет из расчетных режимов функционирования. В случаях, когда фильтр DPF располагается после блока ловушки LNT, катализатор DOC маршрута рециркуляции LPL-EGR соединяется с линией всасывания после прохождения теплообменника, как показано на рис. 3.

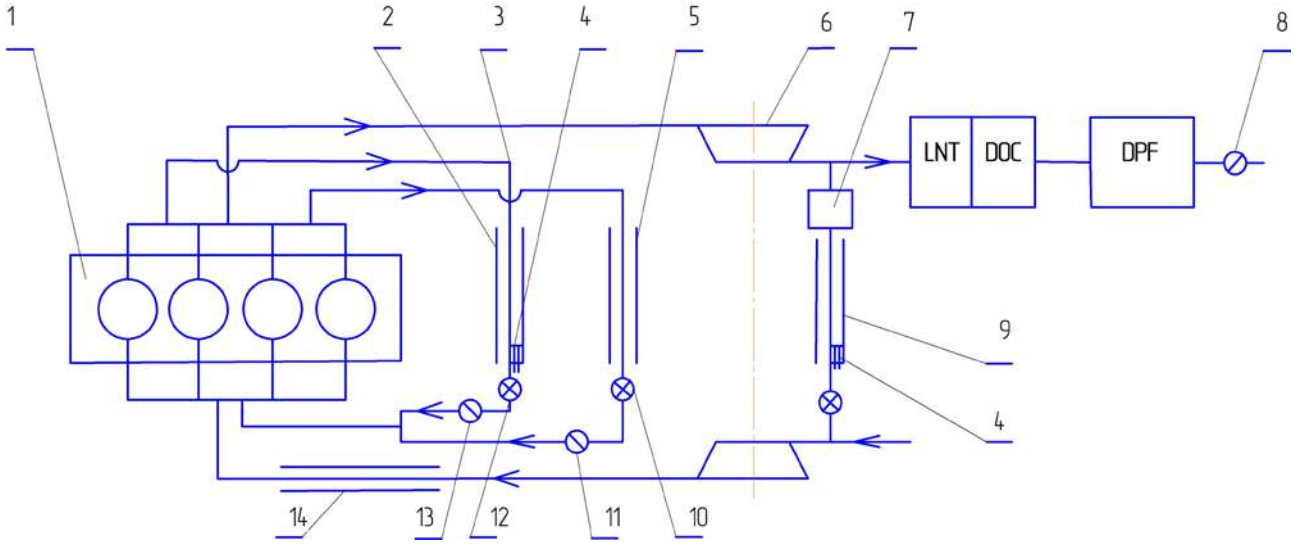


Рис. 3. Схема осуществления коррекции управления потоками отработанных газов двигателя по маршрутам HPL-EGR и LPL-EGR от данных датчиков кислотности перспективных систем: 5 – теплообменник второго контура HPL-EGR; 7 – сменный фильтр; 8 – заслонка; 9 – теплообменник LPL-EGR; 10, 12 – клапаны регулирования давления отработанных газов; 11, 13 – заслонки управления; 14 – теплообменник турбокомпрессора.

При такой схеме существует значительная вероятность образования конденсата H_2SO_4 в случае превышения нормативного содержания серы в топливе со всеми вытекающими последствиями.

Существуют известные способы центробежной очистки от кислотного конденсата газового потока в циклоне, но отсюда вытекают значительные сложности конструктивного исполнения и последующей утилизации. Предлагаемый алгоритм функционирования адаптированной системы HPL/LPL EGR с фильтром DPF-«ловушкой» имеет возможность значительно уменьшить вредоносное влияние серы и не потерять потенциал возможностей [27] поддерживать уровень NO_x до нормативных требований EURO 6. Переход на предлагаемый режим функционирования системы EGR с визуальной сигнализацией отклонения от нормативного содержания серы рассматривается как внештатный или критический режим работы двигателя для срочного принятия мер по устранению критической ситуации.

Как мы убедились, существующих схем применения EGR на практике много. В этом направлении усиленно продолжаются работы [29]

по совершенствованию. Разработчики намерены довести уровень снижения NO_x в отработанных газах до 0,2 г/кВт час в переходных режимах работы двигателя с расчетом на топливо с ультранизким содержанием серы (5–7 ppm). Одновременно это вызывает значительные сложности в адаптации к топливу с повышенным содержанием серы.

Существует возможность защитить КС некоторых конструкций дизельных двигателей от кислотного воздействия катодным методом. Для этого необходим анодный материал более активный, чем материалы деталей КС с достаточной площадью и сам открытый катод. В КС современного дизеля свободная площадь для этого практически отсутствует. Остается незначительный выбор – использование свечи нагрева для холодного запуска двигателя. На части открытой поверхности свечи в КС можно напылением нанести слой активного металла на открытом элементе накаливания для применения дополнительно в качестве катода. Существование элемента накаливания с омическим сопротивлением позволяет получить разность потенциала порядка один вольт при малых величинах силы тока, что достаточно для условий формирования процесса катодной защиты.

Сложности и противоречия в предложении по использованию современных конструкций свечей накаливания заключаются в закрытости стержня нагрева оболочкой и в порошковом наполнителе – двуокиси магния. Кроме того, свеча может совмещать также функцию датчика давления, что еще усложняет задачу. Новое поколение керамических свечей накаливания BOSCH Duraterm-Ceramix и Rapiterm [30] также вносит свои особенные трудности в возможность доработки и придания им дополнительных функций. Но не будем забывать цену вопроса – стоимость простоя автомобиля и затраты на ремонт двигателя. Поэтому доработка свечей накаливания до уровня совмещения основных функций и дополнительной – катодной – вполне реалистичен.

Выводы.

1. Предложенные схемы адаптации современных дизельных двигателей к условиям эксплуатации, не гарантирующих нормативный уровень содержания серы в топливе, показывают достаточную трудность осуществления технических решений при значительном разнообразии схем совместного использования EGR и систем очистки отработанных газов. Поэтому перед выбором парка автомобилей для осуществления профессиональной деятельности по территориям ЕС и Украины необходимо обратить особое внимание на используемые технологии очистки отработанных газов двигателя на возможность адаптации к топливам с повышенным содержанием серы.

2. Учитывая тенденцию к повышению качества реализуемого топлива, необходимо усилить эту тенденцию в локальном направлении вводом транспортных коридоров для обеспечения реализации качественного топлива при согласованной поддержке ассоциацией международных перевозчиков Украины и ассоциацией объединенных операторов рынка нефтепродуктов Украины.

3. Для объективной оценки содержания серы в дизельном топливе системе рециркуляции выхлопных газов необходим датчик, реагирующий на наличие серной кислоты с визуальным выводом данных водителю и с возможной фиксацией протоколов нарушения качества топлива после заправки в GPS навигации.

4. Наибольшие возможности адаптации к высокому содержанию серы в топливе у двигателей, использующих комбинированную систему очистки отработанных газов HPL/LPL EGR с фильтром DPF.

5. Достаточно значительные технические трудности применения катодного метода показывают степень сложности его осуществления, но данный метод применим для многих вариантов исполнения систем очистки, использующих систему рециркуляции отработанных газов.

6. Необходимо в дальнейшем экспериментально опробовать технические предложения по снижению влияния повышенного содержания серы в топливе.

Определения, акронимы, сокращения:

SO_2, SO_3 – оксиды серы;
NO_x – оксиды азота;
EGR (Exhaust Gas Recirculation) – система рециркуляции выхлопных газов;
DPF (Diesel Particulate Filter) – сажевый фильтр;
HPL-EGR (High Pressure loop EGR) – система рециркуляции выхлопных газов высокого давления;
LPL-EGR (Low Pressure loop EGR) – система рециркуляции выхлопных газов низкого давления;
SCR (Selective Catalytic Reduction) – система селективной каталитической нейтрализации;
AdBlue – раствор мочевины высшей степени очистки (32,5%) в деминерализованной воде;
LNT (Lean NO_x Trap) – «ловушка» NO_x;
DOC (Diesel Oxidation Catalyst) – дизельный катализатор окисления;
LEZ – (Low Emission Zones) – зона пониженных выбросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протасов Н. Автомобильные системы нейтрализации отработавших газов [Электронный ресурс] / Н. Протасов. – Режим доступа : http://www.os1.ru/article/technology/2012_10_A_2012_10_17-14_35_25/.
2. Magdi K. K. Hannu jääskeläinen exhaust gas recirculation [Электронный ресурс] / K. K. Magdi. – Режим доступа : http://www.dieselnet.com/tech/egine_egr.php.
3. Абдулгазис У. А. Проблемы и пути конструктивной адаптации автотракторных дизелей к природно-агресивным условиям аридного климата : дис. … докт. техн. наук / У. А. Абдулгазис. – Харьков, 1994. – С. 110–122.
4. Тест дизельного топлива в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://auto.bigmir.net/practice/rules/1505615-Test-dizel-nogo-topliva-v-Ukraine.
5. Зимнему дизелю устроили экзамен [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://benzina.com.ua/news/193/.
6. Половина АЗС в Киеве торгуют некачественным топливом [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://autonews.autoua.net/novosti/polovina-azs-torguyut-nekachestvennym-toplivom.html.
7. Лапшин Ф. MAN не нам [Электронный ресурс] / Ф. Лапшин. – Режим доступа : http://trucks.autoreview.ru/_archive/section/detail.php?ELEMENT_ID=126169.
8. Kass Michael D Assessment of corrosivity associated with exhaust gas recirculation in a heavy-duty diesel engine [Электронный ресурс] / [Michael D. Kass, John F. Thomas, Dane Wilson, Samuel A.]. – Режим доступа : http://www.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/rpt/121998.pdf.
9. Perujo Maria Pla. Condensation of Water Vapor and Acid Mixtures from Exhaust Gases [Электронный ресурс] / Maria Pla Perujo. – Режим доступа : http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2005/794/pdf/plaperujo_maria.pdf.
10. Vouitsis E. Theoretical investigation of the nucleation mode formation downstream of diesel after-treatment devices engine [Электронный ресурс] / E. Vouitsis, L. Ntziachristos, Z. Samaras. – Режим доступа : http://www.ieecas.cn/qrjweb/qrjxh/AAQR/Print%20(volume%208,%20number%201)/4_AAQR-07-03-OA-0016_37-53.pdf.
11. Hongbin M. Investigation of diesel nanoparticle nucleation mechanisms [Электронный ресурс] / M. Hongbin, J. Heejung, D. B. Kittelson. – Режим доступа : http://www.engr.ucr.edu/~heejung/publications/Ma.pdf.
12. Hua Du. Role of the binary H_2SO_4 – H_2O homogeneous nucleation in the formation of volatile nanoparticles in the vehicular exhaust [Электронный ресурс] / Du Hua, Yu Fangqun. – Режим доступа : http://www.albany.edu/~yfq/papers/HuaDuAE06.pdf.
13. Kim D. Nucleation and coagulation of particulate matter inside a turbulent exhaust plume of a diesel vehicle [Электронный ресурс] / D. Kim. – Режим доступа : http://wvuscholar.wvu.edu:8881//exlibris/dtl/d3_1/apache_media/L2V4bGlcmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS82MTQy.pdf.
14. Fuel Quality Is Crucial [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.iav.com/sites/default/files/110518_diesel2020_eng_combustion_process.pdf110518_diesel2020_eng_combustion_ proc-
Lemmettya M. Computation of maximum rate of waess
ter-sulphuric acid nucleation in diesel exhaust. [Электронный ресурс] / [M. Lemmettya, L. Pirjolab, J. M. Makelaa and oth.] – Режим доступа : http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850206000711.
16. Senthilkumar R. Experimental investigation of performance and emission characteristics by different Exhaust gas recirculation methods used in diesel engine [Электронный ресурс] / R. Senthilkumar, K. Ramadoss. – Режим доступа : https://globaljournals.org/GJRE_Volume13/3-Experimental-Investigation-of.pdf.
17. Варнатц Ю. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл ; [пер. с англ. Г. Л. Агафонова] ; [под ред. П. А. Власова]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 352 с.
18. Olofsson A. Investigation of materials for use in exhaust gas condensate. Environment with focus on EGR Systems [Электронный ресурс] / A. Olofsson. – Режим доступа : http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:UBnPuKwVrH8J:umu.divaportal.org/smash/get/diva2:550799/FULLTEXT01+Investigation+of+Materials+for+Use+in+Exhaust+Gas+Condensate&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ua.
19. Kittelson D. B. REVIEW of diesel particulate matter sampling methods. Final report [Электронный ресурс] / D. B. Kittelson, M. Arnold, W. F. Watts. – Режим доступа : http://www.me.umn.edu/centers/cdr/reports/EPAreport3.pdf.
20. Lance M. J. Microstructural Evolution of EGR cooler deposits [Электронный ресурс] / M. J. Lance, C. S. Sluder, J. M. E. Storey. – Режим доступа : http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer_2009/session4/deer09_lance.pdf.
21. Banks A. Boosting technology for Euro VI and Tier 4 final heavy duty diesel engines without NO_x aftertreatment [Электронный ресурс] / A. Banks, M. Niven. – Режим доступа : http://www.imeche.org/Libraries/Turbocharging_Papers/4_Boosting_technology_for_ euro_VI_and_tier_4_final_heavy_duty_diesel_engines_without_NOx_aftertreatment.sflb.ashx.
22. Matthews A. Simulation and analysis of HP/LP EGR for heavy-duty applications (P-11). Advanced controls development [Электронный ресурс] / A. Matthews, I. Friedrich, M. Traver. – Режим доступа : http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer_2009/poster1/deer09_matthews.pdf.
23. Shutty J. Control strategy for a dual loop EGR system to meet euro 6 and beyond [Электронный ресурс] / J. Shutty, R. Czarnowski. – Режим доступа : http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer_2009/session1/deer09_czarnowski.pdf.
24. Vítek O. Porovnání různých způsobů EGR pro vozidlový přeplňovaný vznětový motor [Электронный ресурс] / O. Vítek, M. Polášek, J. Macek. – Режим

доступа : http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2006/2006_125_04.pdf.

25. Сосонкин Д. А. Новейшие автомобильные электронные системы : учеб. пособ. для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей / Д. А. Сосонкин, В. Ф. Яковлев. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.
26. Cylinder pressure-based control in heavy-duty EGR diesel engines using a virtual heat release and emission sensor [Электронный ресурс] / [F. Willems, E. Doosje, F. Engels, X. Seykens.]. – Режим доступа : www.mate.tue.nl/mate/pdfs/11337.pdf.
27. SSP 230 – Выброс вредных веществ с отработавшими газами автомобильных двигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.audi-docs.ru/document/ssp-230-vybros-vrednyh-veshchestv-s-otrabotavshimi-gazami-avtomobilnyh-dvigateley.
28. Linkage Between Fuels, vehicles and emissions – the role of sulfur [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.walshcarlines.com/pdf/Linkage%20Between%20Fuels%20Sulfur%20and%20Emissions.pdf.
29. Aoyagi Y. Reduction of diesel emission by using high pressure loop EGR and low pressure loop EGR [Электронный ресурс] / Y. Aoyagi, M. Kobayashi. – Режим доступа : http://www.birmingham.ac.uk/Documents/collegeeps/mechanical/tcde/Aoyagi.pdf.
30. Свечи накаливания BOSCH [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.av.by/article/index.php?event=View&articles_id=140.

УДК 629.017

Глущенко В. В.

АНАЛИЗ ДТП, ВЫЗВАННЫХ ОПРОКИДЫВАНИЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, И ТРЕБОВАНИЙ К УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ АВТОЦИСТЕРН

Виконано аналіз дорожньо-транспортних пригод, спричинених перекиданням автомобільних транспортних засобів. Проаналізовано вимоги до стійкості положення, а також методика розрахунку поперечної стійкості автоцистерн.

Ключові слова: *автоцистерна, стійкість положення, стендові та дорожні випробування.*

Выполнен анализ дорожно-транспортных происшествий, вызванных опрокидыванием автомобильных транспортных средств. Проанализированы требования к устойчивости положения, а также методика расчета поперечной устойчивости автоцистерн.

Ключевые слова: *автоцистерна, устойчивость положения, стендовые и дорожные испытания.*

The analysis of accidents caused by motor vehicle rollover is conducted. The requirements for the stability of the position, as well as tank vehicles lateral stability calculating method are analysed.

Key words: *tank vehicle, stable position, bench and road test.*

Постановка проблемы. Неотъемлемой составляющей безопасности автомобиля в целом является способность сохранять устойчивость и управляемость движения, предотвращая такие явления, как отклонение от заданного водителем курса, боковое скольжение автомобиля или его опрокидывание.

Стремлением к снижению опасности криволинейного движения обусловлено появление и развитие сложных электронных систем стабилизации траектории ESP (Electronic Stability Programm), систем активного управления автомобилем AFS (Active Front Steering), позволяющих корректировать управляющие действия водителя [1].

Наиболее остро вопросы повышения устойчивости ставятся для грузовых автомобилей, автобусов и особенно автоцистерн, имеющих высокое расположение центра масс, следовательно, более подверженных негативному действию возмущающих факторов.

Анализ литературы. Неустойчивость колесных машин является одной из наиболее распространенных причин аварий на дорогах [2–4]. Устойчивость положения колесных машин (или устойчивость против опрокидывания) является одной из составляющих комплексного эксплуатационного свойства автомобилей и тракторов – устойчивости. Вопросу повышения устойчивости против опрокидывания посвящены работы отечественных и зарубежных ученых [2; 5–9]. Вопросы повышения безопасности дорожного движения рассматриваются в работах [5–7; 9–11]. Понятие устойчивости применительно к автомобилям до настоящего времени не получило четкого общепринятого определения, и в трактовке различных авторов формулируется поразному.

Устойчивость положения машины может рассматриваться относительно двух осей на опорной плоскости – продольной и поперечной. Устойчивость относительно поперечной оси на-

зывают продольной устойчивостью, поскольку опрокидывание может происходить в продольной плоскости. Устойчивость относительно продольной оси называют поперечной устойчивостью, поскольку возможное опрокидывание происходит в поперечной плоскости. Различают статическую и динамическую устойчивости машин [2]. Под статической устойчивостью понимают устойчивость в статическом состоянии (т. е. при отсутствии возмущенного движения), а под динамической устойчивостью – устойчивость в процессе движения и появления возмущенного движения. Резкое увеличение количества ДТП, в частности, вызванных опрокидыванием, связано с несовершенной технической политикой на автомобильном транспорте, которая не обеспечивает безопасность, эксплуатационную надежность и качество автомобильной техники [11]. Таким образом, представляет интерес анализ ДТП, вызванных опрокидыванием автомобильных транспортных средств.

Целью исследования является анализ дорожно-транспортных происшествий, вызванных опрокидыванием транспортных средств, а также требований к устойчивости положения автоцистерн.

Изложение основного материала. По данным ФБУ «Росавтотранс», за первый квартал 2012 г. при перевозке опасных грузов [10] произошло 219 ДТП (рис. 1).

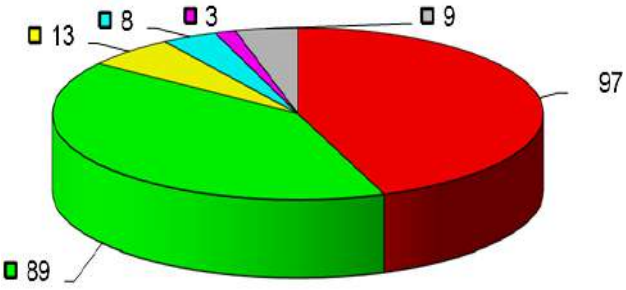


Рис. 1. Статистика ДТП при перевозке опасных грузов [10].

Происшествия при перевозках опасных грузов по видам распределяются следующим образом: опрокидывание транспортного средства – 97 (из них 96 – опрокидывание цистерны); столкновение транспортных средств – 89; наезд на стоящее транспортное средство – 13; наезд на пешехода – 8; наезд на препятствие – 3; иные – 9. Кнут Эстмоэ в работе [7] указывает, что устойчивость против опрокидывания автоцистерн зависит, прежде всего, от формы цистерны, степени заполнения, силы удара при всплеске жидкости в цистерне и интенсивности работы рулем. При 100-процентном заполнении существует лишь небольшая разница в пределе опрокидывания между цистернами с круглой, эллипсоидной и сверхэллипсоидной формой. В данном исследовании боковой устойчивости на экспериментальных цистернах эллипсоидная форма цистерны с тремя переборками против ударов от всплесков жидкости оказалась наиболее устойчивой против опрокидывания даже при изменении частоты работы рулем. Это положение действительно также при 50-процентном и 75-процентном заполнениях цистерны. При наличии вертикальных поперечных переборок резонанс движения жидкости смещается в сторону более высоких частот, хотя вполне вероятно, что в реальном дорожном движении это происходит гораздо реже. При большем количестве переборок достигается более высокая частота резонанса [7].

При изучении риска опрокидывания некоторых моделей автомобилей в работе [7] сделан вывод о существовании тесной зависимости между риском опрокидывания и соотношением ширины колеи и центра тяжести. Широкие и низкие автомобили имеют низкий риск опрокидывания, а узкие и высокие автомобили – высокий риск. На точную форму этой зависимости влияет ряд особенностей, в частности, система подвески, расстояние между осями (длина автомобиля), масса и соотношение веса пассажиров к весу автомобиля. Зависимость весьма устойчива и дает основание для разработки требований для устойчивости транспортных средств. Имеется тесная зависимость также между расстоянием между осями и риском опрокидывания. Критерий устойчивости, который нередко применяется – соотношение между половиной ширины колеи машины и высотой центра тяжести от земли. Анализ регрессии показывает, что существует прямая зависимость между этим соотношением и ДТП с опрокидыванием автомобиля. Значение соотношения, равное 1, дает наиболее высокое число ДТП, но количество ДТП приближается к нулю, когда соотношение приближается к 1,5–1,6. Все названные выше исследования были сделаны в США, можно предположить, что аналогичная зависимость существует и для европейских и американских автомобилей [7].

В табл. 1 приводится общий обзор ДТП с пострадавшими в связи с перевозкой опасных веществ (огнеопасных веществ и штучных товаров) в период 1990–1994 гг. (по данным Норвежской организации DBE) [7]. В частности, в 1994 году было зарегистрировано 48 ДТП. Из них 32 произошло во время перевозки груза. В четырех ДТП были пострадавшие: в них погиб 1 человек и травмировалось 3. Наиболее частым типом ДТП является съезд с дороги в кювет, часто сопровождаемый опрокидыванием транс-

портного средства и разливом огнеопасной жидкости. Среди этой группы было множество ДТП, причинами которых указывались «трудные дорожно-климатические условия». Большинство этих ДТП, вероятно, наступает на скользкой дороге.

Таблица 1.

Количество ДТП с числом пострадавших в Норвегии в связи с транспортировкой опасных веществ в период 1990–1994 гг.

Год	1990	1991	1992	1993	1994
ДТП всего транспорта	42	25	32	30	48
- с участием автоцистерн	39	20	27	25	40
- с участием грузовиков по перевозке штучных товаров	3	5	5	5	8
В составе транспортного потока					
- ДТП во время вождения	27	13	24	21	32
- ДТП в терминале и подобные	15	12	8	9	16
Последствия ДТП					
- лишь материальный ущерб	11	11	18	18	28
- ДТП с пострадавшими	16	1	6	3	4
- ДТП с погибшими	0	1	1	1	1
- общее количество пострадавших	16	1	5	2	3
Тип ДТП					
- съезд с дороги	22	9	19	11	24
- столкновение	5	4	5	10	8

Последствия ДТП при перевозке огнеопасных грузов на дорогах Норвегии, как правило, хорошо известны. На рис. 2 показана вероятность различных последствий ДТП при движении, основанная на подсчете зарегистрированных ДТП в период 1990–1995 гг. [7].

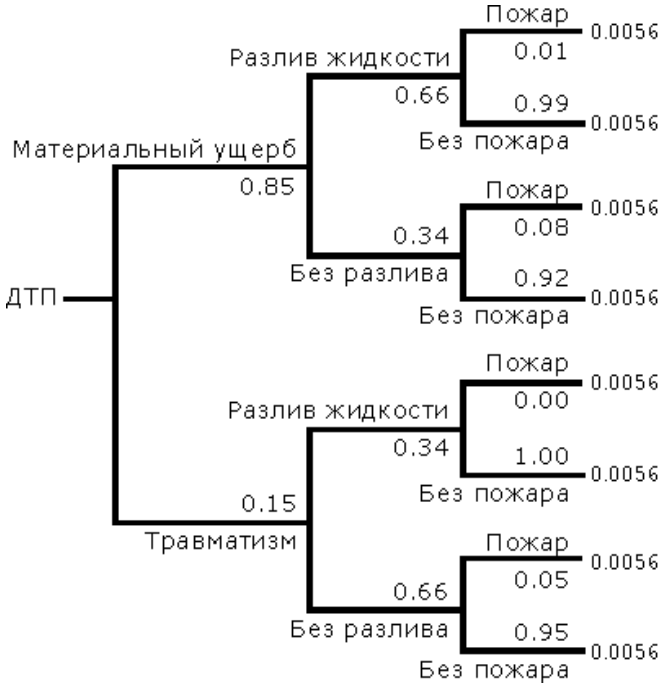


Рис. 2. Вероятность различных последствий ДТП при перевозке опасных грузов (во время движения) на дорогах Норвегии в период 1990–1995 гг.

Вероятность нанесения материального ущерба при ДТП при перевозке опасных грузов составляет 85%. В двух из трех ДТП с материальным ущербом происходили разливы огнеопасного вещества, но это происходило только в одном из трех ДТП с травматизмом. Эта разница объясняется тем, что ДТП подразделялись на разные типы. Большинство ДТП с материальным ущербом – это съезды с дороги с последующим опрокидыванием. Большинство ДТП с травматизмом – это столкновения. Пожар наблюдается редко, всего в 3% всех ДТП. Потенциальные последствия ДТП при перевозке опасных веществ являются, тем не менее, большими.

В Харьковской области с 2000 г. наблюдается резкое увеличение общего количества пострадавших в ДТП. Резко возросло количество раненных при стабильно высоком количестве погибших в этих ДТП.

Наиболее распространенными видами ДТП в Харьковской области являются наезд на пешехода (48%), столкновение транспортных средств (26%) и опрокидывание транспортных средств (9%) (рис. 3) [11].

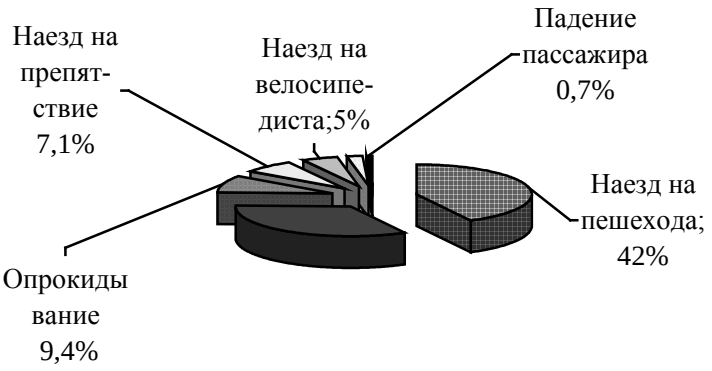


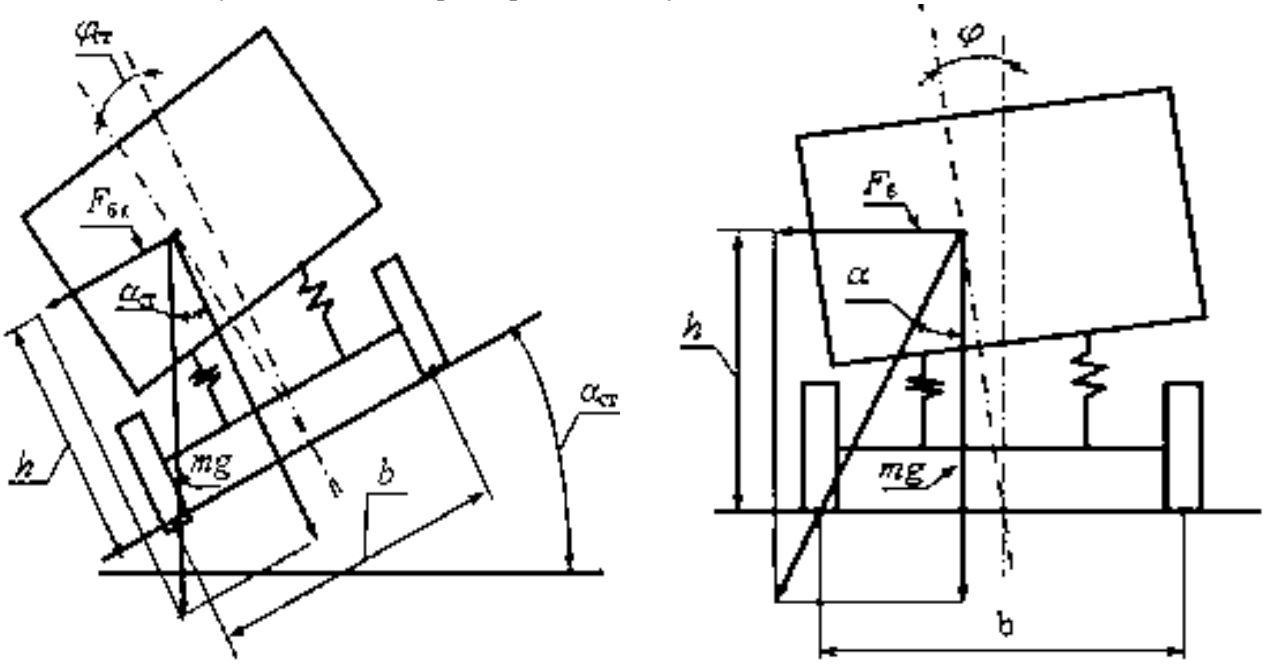
Рис. 3. Классификация ДТП по видам в Харьковской области в 2005 г.

Таким образом, резкое увеличение количества ДТП связано с несовершенной технической политикой на автомобильном транспорте, которая не обеспечивает безопасность, эксплуатационную надежность и качество автомобильной техники.

В связи с указанными обстоятельствами, представляет интерес анализ требований к устойчивости положения автоцистерн.

Анализ требований к устойчивости положения автоцистерн. Следует разделять устойчивость против опрокидывания и при опрокидывании. Под устойчивостью при опрокидывании следует понимать способность транспортных средств иметь углы поворота в продольной или поперечной плоскости, не превышающие предельные углы по условию устойчивости. Устойчивость против опрокидывания – свойство транспортного средства двигаться без отрыва колес одной оси или борта от дороги.

На рис. 4 приведена расчетная схема автомобиля при опрокидывании на стенде и равномерном движении по кругу, а на рис. 5 – зависимость угла крена подрессоренных масс транспортного средства от коэффициента поперечной устойчивости.



а **б**

Рис. 4. Расчетная схема автомобиля: а – опрокидывание на стенде;
б – равномерное движение по кругу; *m* – масса автомобиля; *g* – ускорение свободного падения;
***α* – угол статической устойчивости; φ – угол крена подрессоренных масс;**
***F*б – боковая (центробежная) сила; *F*бс – боковая сила; *h* – высота центра масс; *b* – колея [12].**

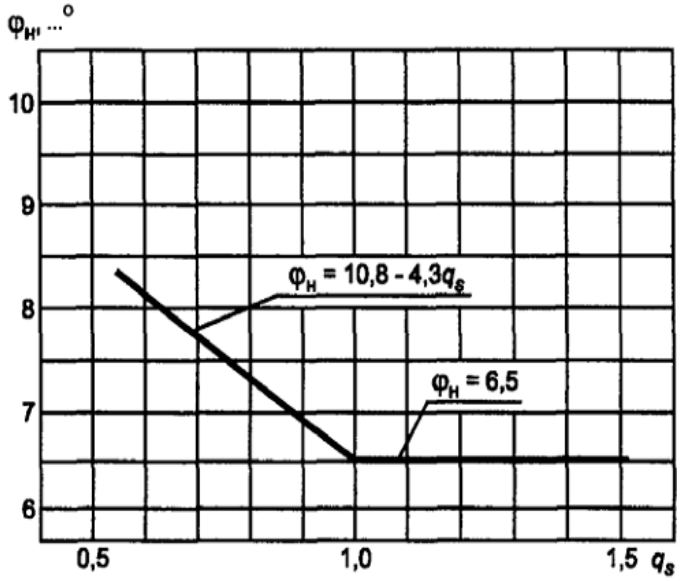


Рис. 5. Зависимость угла крена подрессоренных масс транспортного средства от коэффициента поперечной устойчивости.

В табл. 2 приведены требования к точности определения некоторых параметров автомобиля согласно ГОСТ Р 52302-2004 [5]. На рис. 6 показана зависимость угла опрокидывания автотранспортных средств (АТС) на стенде от коэффициента поперечной устойчивости АТС различных категорий и типов (зоны А, $А_1$, Б, В, Г, Д приведены для справок).

Таблица 2.

Требования к точности определения некоторых параметров автомобиля согласно ГОСТ Р 52302-2004.

Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Погрешность, до	Вид испытаний
Угол крена АТС	±15	±0,25	Испытания «опрокидывание на стенде»
Угол наклона платформы стенда-опрокидывателя	±70	±0,25	
Линейные размеры, мм	До 500	±3	Испытания «опрокидывание на стенде», «поворот», «переставка», «прямая»
	Св. 500 до 5000	±5	
	Св. 5000	±10	Испытания «поворот» и «переставка»

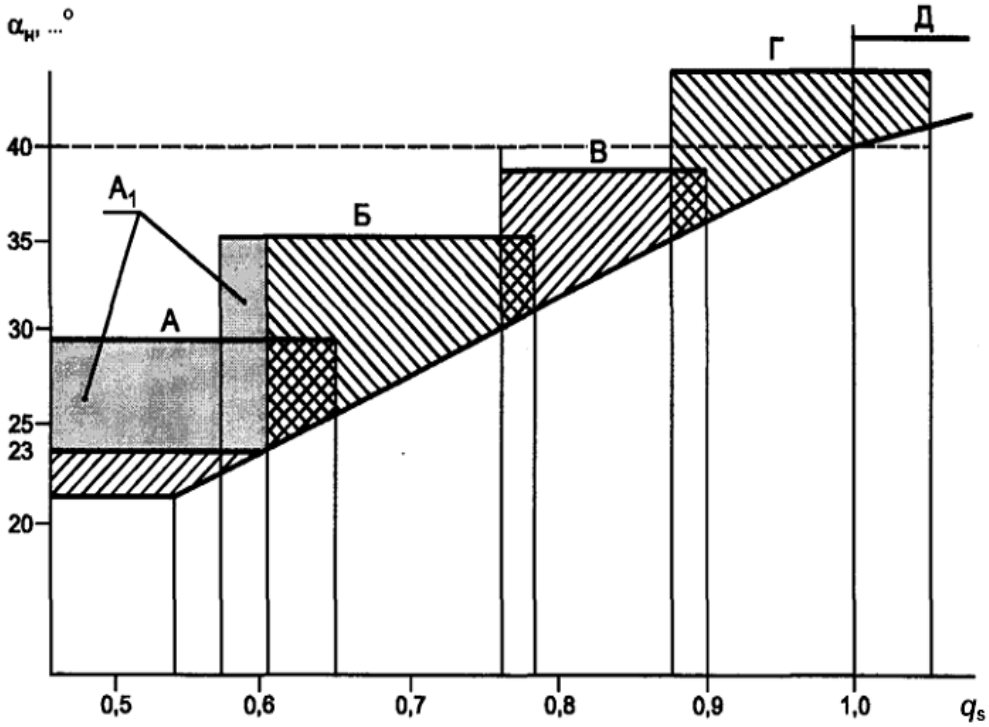


Рис. 6. Зависимость угла опрокидывания АТС на стенде от коэффициента поперечной устойчивости АТС различных категорий и типов [5].

На рис. 6 приняты следующие обозначения: А – диапазон значений q_s для автокранов, автобетоносмесителей, рефрижераторов, контейнеровозов категории N_3, двухэтажных автобусов категории M_3; A_1 – диапазон значений q_s для автомобилей-цистерн категории N_3, прицепов цистерн категорий O_3, O_4; Б – диапазон значений q_s для рефрижераторов, самосвалов категории N_3, одноэтажных автобусов категории M_3, прицепов категорий O_3, O_4; В – диапазон значений q_s для автокранов, самосвалов, рефрижераторов категории N_2, бортовых автомобилей категории N_3, автобусов категории M_2 и прицепов категории O_2; Г – диапазон значений q_s для бортовых автомобилей категории N_1, N_2, фургонов категории N_1, автомобилей повышенной проходимости категории M_1; Д – диапазон значений q_s для автомобилей категории M_1 (за исключением автомобилей повышенной проходимости), прицепов категории O_1.

28 декабря 2000 года вступили в силу Правила ЕЭК ООН № 111, в которых указаны технические требования и испытания автоцистерн категорий N и O в отношении их устойчивости к опрокидыванию. Требования ЕЭК ООН № 111 [9] распространяются на АТС категорий M, N, O. В данном нормативном документе предложены следующие показатели поперечной статической устойчивости против опрокидывания АТС:

- угол статической устойчивости α_{cy} – угол наклона опорной поверхности опрокидывающей платформы относительно горизонтальной плоскости, при котором произошел отрыв всех колес одной стороны одиночного АТС или всех колес одной стороны одного из звеньев седельного автопоезда от опорной поверхности;
- угол крена подрессоренных масс φ – угол между опорной поверхностью опрокидывающей платформы и поперечной осью подрессоренных масс (осью Y в системе координат, проходящей через центр масс АТС), полученный в результате наклона АТС на опрокидывающей платформе.

Величина угла α_{cy} статической устойчивости АТС против опрокидывания, полученная в результате испытаний, должна быть не менее нормативного значения, зависящего от коэффициента q_s поперечной устойчивости АТС. Коэффициент поперечной устойчивости q_s определяют из выражения

$$q_s = \frac{0{,}5 \cdot b}{h}, \qquad (1)$$

где b – колея колес, приведенная к поперечному сечению АТС в плоскости, проходящей через его центр масс, мм;

h – высота центра масс над опорной поверхностью, мм.

Величину колеи колес полуприцепа вычисляют как среднее между серединами наружных колес задней оси (тележки) тягача и серединами наружных колес оси (тележки) полуприцепа. Высоту центра масс определяют из выражения

$$h = \frac{0{,}5 \cdot b - h_{кп} \cdot tg\alpha_{cy} - \Delta}{tg\alpha \cdot \cos\varphi + \sin\varphi} + h_{кп}, \qquad (2)$$

где $h_{кп}$ – высота оси крена над опорной поверхностью в поперечном сечении, проходящем через центр масс, мм;

Δ – боковое смещение центра масс, определяемое по результатам измерений боковой деформации шин, мм.

При отсутствии точных данных величина $h_{кп}$ может быть принята равной статическому радиусу колеса АТС. Согласно Правилам ЕЭК ООН № 111, транспортное средство проходит испытание на наклоняемом столе, в ходе которого имитируется плавный поворот, совершаемый без вибрации, или подвергается альтернативному методу расчета. Устойчивость к опрокидыванию транспортного средства должна быть такой, чтобы транспортное средство не прошло через точку опрокидывания по достижении поперечного ускорения, равного 4 м/с^2. Если оборудование, используемое для проведения испытания на наклоняемом столе, монтируется вне помещения, то скорость бокового ветра не должна превышать 3 м/с, а общая скорость ветра не должна превышать 5 м/с.

Шины испытываемого груженого транспортного средства накачиваются до давления, указанного заводом-изготовителем транспортного средства. Допустимое отклонение давления шины в неразогретом состоянии составляет ±2%.

Все функциональные элементы, которые могут повлиять на результаты данного испытания (например, состояние и регулировка рессор и других элементов подвески, а также геометрическая схема подвески), должны соответствовать указаниям завода-изготовителя. Системы регулировки высоты следует отключить (обеспечив их соответствие статическим значениям) во время фактического наклона во избежание деформации подвески при наклоне.

Угол наклона стола измеряется с точностью свыше 0,3°.

Стандартным состоянием нагрузки во время испытания является состояние максимальной нагрузки: груженое транспортное средство. В этом состоянии максимальной загрузки автоцистерна загружается полностью без превышения максимальной допустимой массы и максимальных допустимых нагрузок на оси.

Все оси транспортного средства с управляемыми колесами блокируются для предотвращения бокового перемещения оси и/или поворота управляемых колес в сторону. Кроме того, транспортное средство фиксируется в продольном направлении для предотвращения его перемещения вперед и назад при условии, что используемый метод закрепления не влияет на результаты испытания. Наклон транспортного средства производится весьма медленно, со скоростью не более 0,25º/с. Транспортное средство постепенно наклоняется по три раза в правую и левую сторону по отношению к его центральной продольной линии. Поскольку происходит прерывистое перемещение систем подвески и элементов сцепки, транспортное средство удаляется со стола в период между испытаниями и обкатывается для «рандомизации» и «коррекции» последствий прерывистого перемещения и гистерезиса.

Расчет поперечной устойчивости. Поперечная устойчивость автоцистерн рассчитывается посредством моделирования круговых испытаний в установившемся режиме (при постоянном радиусе, постоянной скорости и, следовательно, постоянном поперечном ускорении). При этом расчете учитываются такие основные факторы, влияющие на устойчивость, как высота центра тяжести, ширина колеи, а также все факторы, приводящие к поперечному перемещению центра тяжести (боковая жесткость оси, боковая жесткость подвески и т. д.). В случае полуприцепов воздействие тягача моделируется с учетом исходной боковой жесткости поворотного шкворня. При расчете должны выполняться следующие технические требования:

- центр крена оси соответствует уровню поверхности земли;
- конструкция транспортного средства считается жесткой;
- транспортное средство устанавливается симметрично своей осевой линии;
- деформация шины и подвески является линейной;
- поперечная деформация подвески равна нулю.

Расчет поперечной устойчивости заключается в определении согласованного показателя поперечного ускорения при опрокидывании. Поперечное ускорение при подъеме первого колеса q_M определяется из выражения [9]:

$$q_M = \frac{A_M \cdot T_M}{2\left[(F_E A_T H_G) + \dfrac{((A_T - U_T) F_E H_N)^2}{C_{DRESM} - (A_T F_E H_N)}\right]}. \quad (3)$$

Максимальное оптимальное теоретическое поперечное ускорение при опрокидывании q_T:

$$q_T = \frac{A_T \cdot T_T}{2\left[(A_T \cdot H_G) + \dfrac{((A_T - U_T) \cdot H_N)^2}{C_{DREST} - (A_T \cdot H_N)}\right]}. \quad (4)$$

Линейное интерполирование между поперечным ускорением при подъеме первого колеса и максимальным теоретическим поперечным ускорением позволяет получить согласованный показатель поперечного ускорения при опрокидывании q_c:

$$q_c = q_T - (q_T - q_M) \cdot \frac{A_M}{A_T}. \quad (5)$$

В зависимостях (3)–(5) приняты следующие обозначения: m_i (м) – номинальная высота осевой линии крена подвески; A_i (кН) – нагрузка на ось/тележку; F_E – коэффициент полезной массы самой жесткой оси/тележки; H_G (м) – высота центра тяжести всего транспортного средства; q_c – скорректированное поперечное ускорение при опрокидывании; q_M – поперечное ускорение при первом подъеме колеса; q_T – максимальное оптимальное поперечное ускорение при опрокидывании; θ_i (рад) – угол смоделированного крена транспортного средства при подъеме колеса; A_M – осевая нагрузка оси/тележки с минимальным θ; T_M – ширина колеи оси/тележки с минимальным θ; C_{DRESM} = боковая жесткость оси/тележки с минимальным θ.

Выводы. Вопрос выбора адаптивного критерия оценки устойчивости против опрокидывания остается нерешенным. В качестве критерия предлагается использовать коэффициент устойчивости против опрокидывания, равный отношению момента стабилизирующего к возмущающему. Экспериментальные исследования следует выполнять с использованием мобильного регистрационно-измерительного комплекса. Актуальным является вопрос создания электронной системы повышения устойчивости против опрокидывания на основе трехкомпонентных датчиков ускорения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов С. А. Угловые параметры качения управляемых колес как фактор повышения устойчивости движения и снижения нагруженности передней оси грузового автомобиля : дис. … канд. техн. наук / С. А. Морозов. – М., 2006. – 227 с.
2. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин : монография / [Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало, А. С. Полянский, Д. М. Клец, А. И. Коробко, В. В. Задорожняя] ; под ред. М. А. Подригало. – Харьков : Міськдрук, 2012. – 220 с.
3. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А. С. Литвинов. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.
4. Чудаков Е. А. Устойчивость автомобиля при заносе / Е. А. Чудаков. – М. : АН СССР, 1945. – 144 с.

5. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний : ГОСТ Р 52302-2004. – [Утв. Приказом Ростехрегулирования от 30.12.2004 № 164-ст]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2005 – 32 с.
6. Джонс И. С. Влияние параметров автомобиля на дорожно-транспортные происшествия / И. С. Джонс. – М. : Машиностроение, 1979. – 207 с.
7. Эстмоэ К. Справочник по безопасности дорожного движения / Эстмоэ Кнут. – Осло–Москва–Хельсинки : Институт экономики транспорта, 2001. – 773 с.
8. Вимоги до статистичних даних про дорожньо-транспортні випадки з тракторами / [М. М. Кірієнко, О. С. Полянський, В. В. Задорожня, О. В. Климчук] // Вісник ХНТУСГ. Тракторна енергетика в рослинництві. Вип. 60. – Харків, 2007. – С. 101–105.
9. Правила ЕЭК ООН № 111. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автоцистерн категорий N и O в отношении их устойчивости к опрокидыванию. – ООН, 2001. – 44 с.
10. Виблый Н. Г. Система подготовки и повышения квалификации водителей-профессионалов в РФ [Электронный ресурс] / Н. Г. Виблый. – Режим доступа : http://rosavtotransport.ru/wpcontent/uploads/2012/11/Doklad_Viblyy.pdf.
11. Шаша И. К. Научные основы обеспечения безопасности на автомобильном транспорте Украины : дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.22.20 / И. К. Шаша ; Харьковский национальный ун-т внутренних дел. – Харьков, 2006. – 338 с.
12. Челноков В. Г. Управляемость и устойчивость автомобилей многоцелевого назначения / В. Г. Челноков, Г. З. Лукьянов // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2011. – № 3(68). – С. 28–33.

РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.891/892.004.12

Абдулгазис Д. У., Абдулгазис У. А.,
Ягьяев Э. Э., Умеров Э. Д.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ АКТИВАЦИИ СОТС ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

У роботі проаналізовано основні напрямки і результати відомих методів активації МОТС при різанні матеріалів.

Ключові слова: *масляні МОТС, фізична і хімічна активації МОТС, активація зовнішніми енергетичними впливами.*

В работе проанализированы основные направления и результаты известных методов активации СОТС при резании материалов.

Ключевые слова: *масляные СОТС, физическая и химическая активации СОТС, активация внешними энергетическими воздействиями.*

The paper analyzes the main trends and results of the known methods of activation coolants in cutting materials.

Key words: *oil coolants, physical and chemical activation CLTT, the activation of energetic influences.*

Постановка проблемы. Значение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) как обязательной компоненты современных технологических процессов обработки металлов резанием, значительного резерва повышения производительности и качества обработки неоспоримо и общепризнано. Ретроспективный обзор потребления СОТС в Германии в прошлом десятилетии показывает, что его потребление в среднем составляло 80000 тонн в год [1].

Такая ситуация характерна и для других промышленно развитых стран и связана с высокими общепроизводственными затратами, которые в расчете на один станок достигают от 50 до 300 долларов в день [2]. К примеру, в автомобильной промышленности Германии финансовые расходы на СОТС составляют до 8…16% от общих издержек производства, что намного превышает расходы на режущий инструмент, составляющие 3…4%.

Это обстоятельство побуждает к пересмотру состава (матрицы и присадок) традиционных СОТС и обосновало поворот научных исследований в сторону новых решений. Одним из направлений по повышению их эффективности, в особенности теплоотводящей способности, считаем активацию СОТС, позволяющую существенно снизить основные расходы на закупку.

Цель статьи – проанализировать направленность и результативность известных методов активации СОТС.

Изложение основного материала. Впервые термин «активизация СОТС» был введен в научный оборот В. Н. Латышевым. В его работах [3; 4] показано, что физическими методами активизации СОТС можно добиваться протекания новых химических и механических процессов в зоне резания.

К настоящему времени накоплен значительный опыт активации СОТС, вошедший в справочную литературу [5–7], диссертационные работы [3; 8–10], монографии [4; 11; 12], патенты [13], учебные пособия [14] и научную периодику.

Анализ литературы, приведенной в табл. 1, показал, что существует много различных методов активации СОТС.

Таблица 1.

Анализ применяемых методов активации СОТС.

Методы активации СОТС	Технические решения	Получаемые результаты	Использованный литературный источник
Физическая	Активизация СОТС вне зоны резания трением и диспергированием	Применением специальных методов подачи СОТС (под давлением, распылением, через каналы в теле инструмента)	[6; 11]
	Подача СОТС в зону резания под большим давлением		[7; 15; 16]

Химическая	Введение различных по природе и химическому строению функциональных присадок	Способность образовывать в зоне контакта защитные смазочные пленки. Увеличение стойкости режущего инструмента, повышение качества и заданной точности обрабатываемой поверхности	[8; 17; 18]
Термическая	Предварительный нагрев СОТС	Повышается реакционная активность, диффузия компонентов, а следовательно, и ее активность. Это позволяет снизить расход жидкости при неизменности смазочного действия	[16; 19]
Электрическая	Поверхностная зарядка зоны резания	При абразивной обработке повышение производительности. Стойкость алмазных кругов увеличилась до 10 раз. При лезвийном резании повышение производительности обработки	[9; 10; 20]
	Самопроизвольная электризация мелких капель СОТС	Повышение эффективности распыленных жидкостей по сравнению с обычным поливом СОТС	[13; 21; 22]
	Создание электрического поля в зоне резания	Электрическое поле вызывает деформацию капель в дисперсиях и их разрыв	[12; 23]
	Электроимпульсное воздействие на жидкость (СОТС) в объеме корпуса активатора	Управление процессом дробления непрерывной струи	[24]
	Безимпульсное пропускание через СОТС переменного либо постоянного тока	Повышение проникающей способности СОТС. Наблюдается изменение вязкости СОТС, появление продуктов электролиза воды. При больших плотностях тока происходит разрушение СОТС	[4; 14; 25; 26]
	Электрический разряд коронного типа в воздушной среде	Использовался для целей «сухой смазки» при лезвийной обработке материала	[27]
Омагничивание СОТС	Активация СОТС системой постоянных магнитов	Влияние намагничивания проявляется по разному. Изменение сил резания (токарная обработка) в результате активации были как положительными, так и отрицательными не превышали 20%	[28]
		Омагничивание СОТС при абразивной обработке наряду с изменениями физико-химических свойств жидкости способствует коагуляции шлама, что повышает качество очистки эмульсии от загрязнений	[29–31]
Ионизирующее облучение заготовки	Ионизирующее облучение заготовки	Ионизирующее облучение обрабатываемого металла способствует своеобразному проявлению эффекта Ребиндера	[32–34]
Ультразвуковое воздействие	Наложение ультразвука на СОТС, подводимую к абразивному кругу	Мощный ультразвук может химически разложить присадки и даже разлагать молекулы воды. Это ведет к усилению окисления поверхностей обработки	[34; 16; 35]
		Ультразвук разрушает паровую пленку, образующуюся в результате кипения СОТС и тем самым улучшает режим охлаждения	[36]
		Ликвидирует образование паровоздушных пузырьков в порах круга, при этом стойкость инструмента повышается до 3…5 раз	[37; 38]
		Очистка ультразвуком пор абразивного инструмента	[37; 38]
Лазерное излучение	Применение лазерного излучения для модификации характеристик СОТС	Позволяет управлять функциональными характеристиками СОТС и влиять на интенсивность и величину износа контактирующих элементов трибосопряжений	[39; 40]

В настоящее время широко практикуются физические и химические методы активации СОТС.

Физическая активация заключается в подаче СОТС в зону резания под большим давлением, применением специальных методов подачи. При физической активации атомы и молекулы СОТС под действием подведенной внешней энергии преодолевают потенциальный барьер, препятствующий их взаимодействию с поверхностью в зоне контакта при резании. Физические методы активации смазочных материалов являются перспективными для применения в условиях автоматизированного производства.

Химическая активация СОТС осуществляется посредством введения в них различных по природе и химическому строению функциональных присадок. В настоящее время широкое применение нашли следующие присадки:

- поверхностно-активные вещества, улучшающие антифрикционные свойства трибосистем;
- органические соединения, содержащие активные компоненты (серу, фосфор, хлор), которые, химически взаимодействуя с поверхностными слоями деталей, образуют пленки, предотвращающие металлическое и молекулярное сцепление на участках контакта;
- наноструктурированные присадки (графит, дисульфит молибдена, бентонит и др.), способствующие снижению трения в процессе резания вследствие увеличения опорных площадей контакта и замены трения между металлическими поверхностями на трение между пластически сдвигаемыми слоями присадки относительно друг друга.

Новым подходом можно считать методы активации внешними энергетическими воздействиями (АВЭВ). Характерным для этих методов является то, что они позволяют кратковременно (локально в зоне резания) изменять свойства СОТС. К методам АВЭВ относятся:

- термическая активация – предварительный нагрев СОТС позволяет повысить реакционную активность и диффузию компонентов;
- электрическая активация – позволяет повышать проникающую способность СОТС за счет создания электрического поля в зоне резания;
- активация ионизирующим облучением обрабатываемого металла способствует проявлению эффекта снижения прочности, возникновения хрупкости и облегчения диспергирования;
- омагничивание – активация СОТС системой постоянных магнитов при абразивной обработке способствует коагуляции шлама, улучшая тем самым качество очистки СОТС для ее повторного использования;
- ультразвуковая активация – наложение ультразвука на СОТС ликвидация паровоздушных пузырьков в порах абразивного инструмента, очистка этих пор и улучшение режима охлаждения при шлифовании;
- лазерная активация – модификация характеристик СОТС позволяющая управлять функциональными характеристиками и влиять на интенсивность и величину износа режущего инструмента.

Одним из перспективных направлений совершенствования СОТС является разработка модификаций, которые в своем составе содержат энергоемкие эндотермические присадки.

В работах [41–46] впервые предложен способ активации теплоотвода от режущего инструмента путем применения энергоемких эндотермических присадок к масляным СОТС которые существенно повышает ее теплоотводящую способность. Установлено влияние ЭТП к масляным СОТС при сверлении на изменение: сил резания и крутящего момента; формирование стружки; шероховатости обработанной поверхности и стойкости инструмента.

Выводы. Таким образом, многообразие способов активации СОТС позволяет говорить о важности и сложности процесса. Решение проблемы активации СОТС может быть осуществлено лишь на базе совместных исследований выполняемых физиками, химикам и машиностроителями, с применением в исследованиях методов физико-химического эксперимента.

Это служит основанием для поиска новых путей усиления эффективности СОТС с целью совершенствования их трибологических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. DIN 51 385: Schmierstoffe – Kühlschmierstoffe, Begriffe. – Berlin : Beufh-Verlag, Juni 1991. – 19 S.
2. Якубов Ч. Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч. Ф. Якубов. – Симферополь : ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с.
3. Латышев В. Н. Исследование механических процессов и эффективности применения смазочных средств при трении и обработке металлов : дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.03.01 / В. Н. Латышев. – М., 1973. – 412 с.
4. Латышев В. Н. Повышение эффективности СОТС / В. Н. Латышев. – М. : Машиностроение, 1975. – 88 с.
5. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием : справочник / под ред. С. Г. Энтелиса, Э. М. Берлинера. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.

6. Бердичевский Е. Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов : справочник / Е. Г. Бердичевский. – М. : Машиностроение, 1984. – 224 с.
7. Bowden F. P. The surface temperature of sliding solids / F. P. Bowden. // Proc. Roy. Soc. – l967. – V.A. 222. – P. 29–40.
8. Марков В. В. Повышение эффективности и экологической безопасности лезвийного резания путем применения энергетической активации и оптимизации состава присадок СОТС : дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.03.01 / В. В. Марков. – Иваново, 2004. – 406 с.
9. Рутман П. А. Исследование влияния электрокапиллярного понижения прочности на процессы микрорезания и абразивной обработки материалов : автореф. дис. ... канд. хим. наук / П. А. Рутман. – М. : МГУ, 1977. – 16 с.
10. Годлевский В. А. Исследование возможности активизации смазочно-охлаждающих жидкостей методом поверхностного электрического заряжения зоны резания : дис. ... канд. техн. наук / В. А. Годлевский. – Иваново, 1982. – 250 с.
11. Бердичевский Е. Г. Интенсификация обработки резанием термомеханическими способами и активацией технологических средств. Обзор / Е. Г. Бердичевский. – М. : НИИмаш, 1982. – 56 с.
12. Верещагин А. Н. Поляризация молекул / А. Н. Верещагин. – М. : Наука, 1980. – 176 с.
13. А. с. № 210609 СССР, МКИ^2 В 23 В. Способ охлаждения и смазки распыленными ионизированными жидкостями / Е. В. Горбунова, В. Н. Латышев, А. И. Солодихин (СССР). – № 1037928/25-8 ; заявл. 05.04.67 ; опубл. 06.02.68. Бюл. № 6.
14. Якимов А. В. Теплофизика механической обработки : учебное пособие / А. В. Якимов, П. Т. Слободяник, А. В. Усов. – К. ; Одесса : Лыбидь, 1991. – 240 с.
15. Ярославцев В. Н. Исследование крутящего момента при сверлении с подачей СОТС под статическим давлением / В. Н. Ярославцев, А. И. Сабельников // Теория трения, износа, смазки и обрабатываемости металлов. Вып. 6 – Чебоксары : ЧувГУ, 1980.– С. 47–51.
16. Худобин Л. В. Влияние физико-химической активации на свойства СОЖ / Л. В. Худобин, В. И. Костельникова, Р. К. Луке // Рукопись представлена журналом «Физико-химическая механика материалов». Деп. в ВИНИТИ 10.06.80. № 4439–80 ДЕП.
17. Поверхностно-активные вещества, применяемые в современных СОТС обработки металлов резанием / [В. М. Петров, Е. Н. Белецкий, О. В. Говорова, Н. Ю. Сойту] // Современные технологии, оборудование и оснастка машиностроительного производства : сб. науч. трудов. – СПб. : Изд-во «Инструмент и технологии», 2006. – № 24. – С. 25–27.
18. Латышев В. Н. О смазочном и химическом действии внешней среды при резании металлов / В. Н. Латышев, А. Г. Наумов // Трение и износ. – 2001. – Т. 22. – № 3. – С. 342–348.
19. Ванин В. С. Влияние CO_2 на диффузионные процессы при трении и резании / В. С. Ванин, А. П. Москалев, Э. А. Станчук // Труды Николаевского политехнического института. Вып. 27. – Николаев, 1968. – С. 82–93.
20. Годлевский В. А. О взаимодействии СОЖ с электрически заряженной поверхностью металла / В. А. Годлевский // Физико-химическая механика процесса трения. – Иваново, 1978. – С. 30–36.
21. Клушин М. Н. К вопросу о повышенной эффективности распыленных смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов / М. Н. Клушин, В. В. Подгорков // Вопросы теории трения, смазки и обрабатываемости металлов. – Чебоксары : ЧувГУ, 1972. – С. 75–82.
22. Подгорков В. В. Влияние электризации распыленных жидкостей на эффективность их действия / В. В. Подгорков // Станки и инструмент, 1966. – № 8. – С. 12–16.
23. Красиков Н. Н. К формированию граничного масляного слоя / Н. Н. Красиков // Трение и износ. – 1980. – Т. 1, № 3. – С. 472–475.
24. Кретинин О. В. Количественная оценка воздействия импульсного давления технологической среды на процесс резания / О. В. Кретинин, А. А. Москвичев // Опыт применения новых смазочно-охлаждающих технологических сред при обработке металлов резанием : тез. докл. Всесоюзн. научно-технич. семинара. – Горький, 1987. – С. 39–40.
25. Худобин Л. В. О возможности активации СОЖ импульсными электрическими полями / Л. В. Худобин, В. Ф. Жданов // Чистовая обработка деталей машин. – Саратов : СПИ, 1980. – С. 49–53.
26. Малов А. В. Влияние наложения электрического тока на СОТС при точении металлов / А. В. Малов // Физико-химическая механика процесса трения. – Иваново : ИвГУ, 1978. – С. 79–83.
27. Venkatesh V. C. On a diffusion wear model for high speed tools / V. C. Venkatesh // Trans ASME Journal of Lubrication Technology. – 1978. – V. 100. – № 2. P. 436–411.
28. Сучков Н. Ф. Изучение влияния магнитной активации СОЖ на процесс резания / Н. Ф. Сучков, В. Н. Латышев // Труды Ивановского текстильного института. Вып. 8. – Иваново, 1966. – С. 6–11.
29. Булыжнев Е. М. К вопросу оптимизации режимов работы аппаратов для магнитной обработки СОЖ, загрязненных механическими примесями при шлифовании / Е. М. Булыжнев // Физико-химическая механика против трения. – Иваново, 1977. – С. 63–65.
30. Макаров В. Н. Магнитная обработка СОЖ при точении / В. Н. Макаров, И. И. Журавлев, Ю. А. Герасимов // Повышение качества деталей в машиностроении технологическими методами. – Рыбинск, 1980. – С. 25–29.
31. Серебряков А. С. Влияние магнитной обработки СОЖ на стойкость режущих инструментов / А. С. Серебряков, В. П. Ковтун, В. И. Шляг // Вопросы теории и практики обработки воды и водных систем. – Новочеркасск, 1975. – С. 45–48.

32. Мещеряков Г. Н. Новые области технологического применения эффекта Ребиндера / Г. Н. Мещеряков, Н. Г. Мещеряков, В. Г. Жуков. – К., 1980. – 20 с.
33. Радиационная активация жидких сред, применяемых при обработке резанием и пластическим деформированием / [Г. Н. Мещеряков, Л. А. Чупина, Н. Г. Мещеряков, Л. В. Май] // Методы испытания свойств СОЖ и способы применения их на металлорежущем оборудовании : тез. докл. Всесоюзн. научно-технич. совещания. – Ульяновск, 1972. – С. 10–11.
34. Умаров Э. А. Влияние гамма-облучения эмульсола на износ резцов и чистоту обработанной поверхности / Э. А. Умаров, Н. М. Шевердина, Г. И. Якунин // Труды Ташкентского политехнического института. Вып. 137. – Ташкент, 1974. – С. 124–126.
35. Касьян М. В. Влияние активации неактивных сред на показатели процесса резания / М. В. Касьян, Ф. А. Парикян, Г. С. Овсепян // Вопросы теории действия СОТС в процессах обработки металлов резанием. – Горький, 1975. – Ч. 1. – С. 100–103.
36. Елимзаров А. И. О механизме охлаждающего действия СОЖ / А. И. Елимзаров, Н. Г. Антонова // Обработка металлов резанием с применением СОЖ : материалы научно-техн. семинара. – М. : МДНТПД, 1987. – С. 64–69.
37. Киселев Е. С. Эффективность ультразвуковой техники подачи СОЖ на операции шлифования / Е. С. Киселев, А. Н. Унянин // Смазочно-охлаждающие технологические средства при механической обработке заготовок из различных материалов : тез. докл. междунар. научно-технич. конф. – Ульяновск, 1993. – С. 67–68.
38. Худобин Л. В. Совмещенное шлифование с наложением звуковых колебаний на СОЖ / Л. В. Худобин, Е. С. Кисилев, С. А. Кобелев // Станки и инструмент. – 1980. – № 3. – С. 25–27.
39. Решетников А. Г. Активация смазочных материалов лазерным излучением / А. Г. Решетников // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении : межвуз. науч. сб. / СГТУ. – Саратов, 2004. – С. 130–132.
40. Суминов В. М. Обработка смазочных веществ лазерным излучением / В. М. Суминов, В. И. Акилин, Д. Н. Мишенин // Научные труды МАТИ им. К. Э. Циолковского. Вып. 1(73). – М. : Латмес, 1998. – С. 228–235.
41. Абдулгазис Д. У. Повышение теплопоглощающей способности и устойчивости к окислению СОТС на основе растительных масел / Д. У. Абдулгазис, Ф. Я. Якубов, У. А. Абдулгазис // Резание и инструмент в технологических системах : Межд. научно-технич. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. – Вып. 65. – С. 3–10.
42. Абдулгазис Д. У. Использование эндотермического эффекта дегидратации кристаллогидратов для повышения теплоотводящей способности СОТС на основе растительных масел / Д. У. Абдулгазис // Високі технології в машинобудуванні : збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2005. – Вип. 2(11). – С. 3–8.
43. Абдулгазис Д. У. Об одной возможности снижения температуры на лезвии резца / Д. У. Абдулгазис, Г. П. Подзноев, Э. Р. Ваниев // Високі технології в машинобудуванні : збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2004. – Вип. 1(8). – С. 3–7.
44. Абдулгазис Д. У. Композиционные СОТС на основе растительных масел для операций сверления / Д. У. Абдулгазис // Резание и инструмент в технологических системах : Межд. научно-техн. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. – Вып. 73. – С. 3–8.
45. Абдулгазис Д. У. Стендовая и станочная оценка эффективности эндотермической масляной СОТС / Д. У. Абдулгазис, Э. Д. Умеров // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 29. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2011. – С. 62–67.
46. Абдулгазис Д. У. Моделирование оптимального состава кристаллогидратов в СОТС / Д. У. Абдулгазис, Э. Э. Ягъяев // Вісник СевНТУ : збирник наукових праць. Вип. 129 [Машиноприладобудування та транспорт] – Севастополь, 2012. – С. 3–6.

УДК 621.923

Колесов А. Г., Сазонов С. Е., Братан С. М.

ДОВОДКА И ПОЛИРОВАНИЕ В СТРУКТУРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЯТНИКОВ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Розглянуто технологію виготовлення маятників акселерометрів. Встановлено, що для забезпечення якості виробів необхідно додатково вводити операції доводки і полірування.

Ключові слова: *дефект, маятник акселерометра, якість виробів, доводка, полірування.*

Рассмотрена технология изготовления маятников акселерометров. Установлено, что для обеспечения качества изделий необходимо дополнительно вводить операции доводки и полирования.

Ключевые слова: *дефект, маятник акселерометра, качество изделий, доводка, полирование.*

Considered the technology of pendulum accelerometers and determined that in order to ensure the quality of the products you need to bring additional finishing and polishing operations.

Key words: *defect, the pendulum accelerometer, product quality, finishing, polishing.*

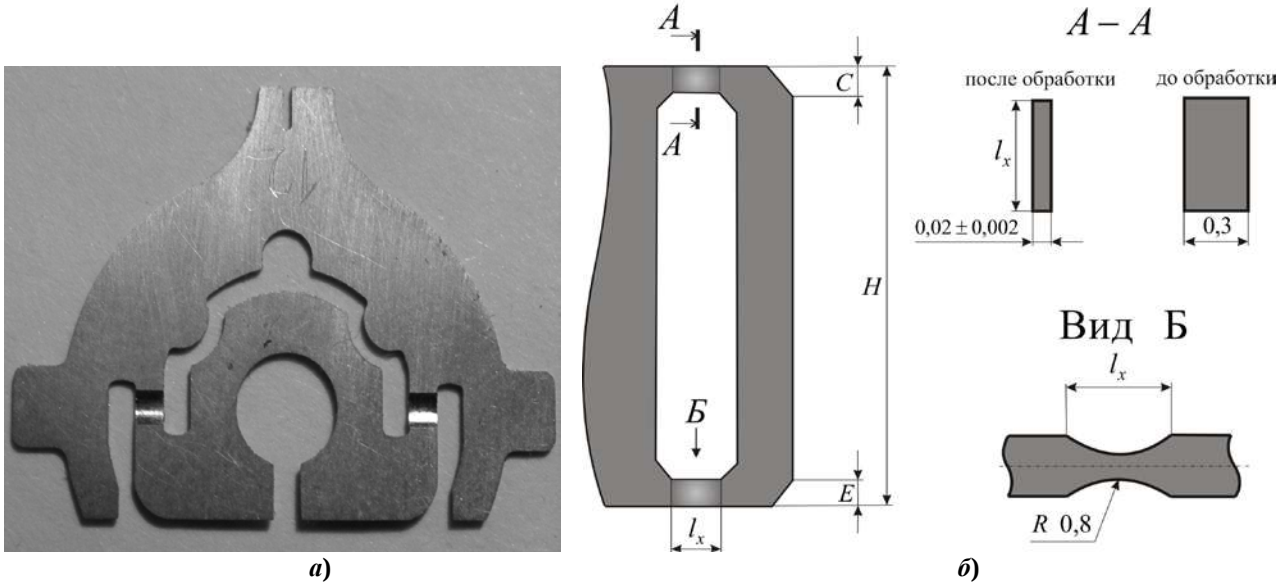
Постановка проблемы. Современный уровень развития техники характеризуется повышением требований к качеству механизмов и машин. Важнейшими факторами, определяющими потребительские качества, долговечность, надежность и точность работы машин и приборов, являются погрешности размеров, отклонения формы, шероховатость, волнистость поверхностей и др.

Ставится задача не только повысить точность изготовления деталей в целом, но и обеспечить стабильность их параметров. Чтобы повысить качество обработки деталей и, как следствие, эксплуатационные свойства изделия, необходимы дополнительные исследования в области создания технологических процессов окончательного формообразования рабочих поверхностей прецизионных деталей.

При обработке прецизионных поверхностей деталей приборов необходимо соблюдать высокие требования к качеству получения геометрических размеров, шероховатости и физико-механическому состоянию поверхностного слоя. Следует отметить, что повышение точности изготовления деталей не всегда позволяет обеспечить необходимые эксплуатационные свойства, такие как надежность и долговечность. Особенно актуальна эта задача при изготовлении прецизионных деталей приборов, например, маятников акселерометров, к качеству изготовления которых предъявляются чрезвычайно высокие требования [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Акселерометры используются во многих отраслях и сферах промышленности. Основной деталью этих приборов являются упругие элементы – маятники, работающие при циклических знакопеременных нагрузках. От качества изготовления маятников зависит надёжность приборов.

Маятник акселерометра представляет собой конструкцию, выполненную в виде плоского тела сложной конфигурации с фасонными поверхностями, изготовленными по 4–5 квалитетам, с шероховатостью поверхности Ra = 0,1…0,05 мкм. Пример такой конструкции приведен на рис. 1.



***а*)** ***б*)**

Рис. 1. Пример конструкции маятников:
***а*) – конструкция маятника; *б*) – упругий элемент маятника, который необходимо обработать – перемычка толщиной 0,020 мм с допуском ±0,002 мм и шероховатостью *Ra* = 0,1…0,08 мкм.**

Для обработки таких изделий в настоящее время используются различные технологические методы и приемы. При этом ввиду очень жестких требований к качеству изготовления продукции обработка производится в несколько этапов [2]:

1) заготовительная обработка – на эрозионном станке вырезается контур маятника;
2) термическая обработка – производится отпуск с целью ликвидации дефектов (остаточных напряжений), внесенных электроэрозионной резкой;
3) изготовление перемычки:
   а) предварительная обработка перемычки (снимают часть припуска под окончательную обработку);
   б) термообработка;
   в) финишная обработка, на которой формируется окончательное качество изделия.

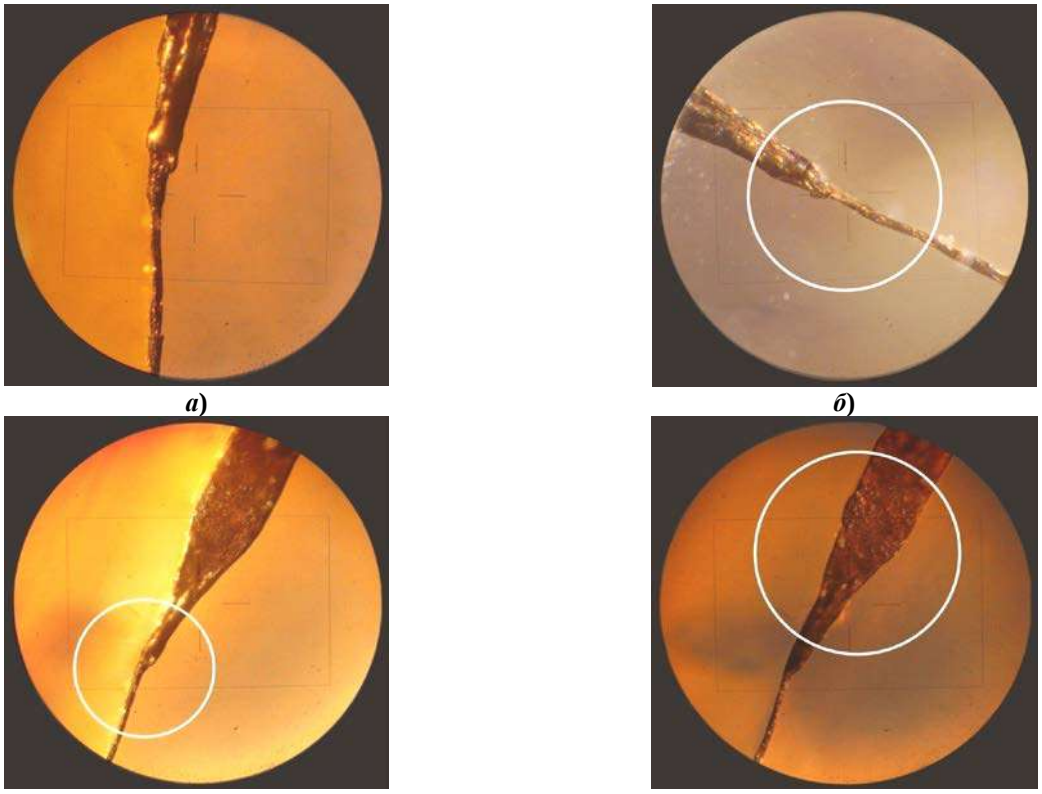
Для окончательной обработки перемычек маятников предприятия-изготовители пытаются применять методы алмазного растачивания, тонкого фрезерования, шлифования, электрохимической обработки (табл. 1).

Таблица 1.

Методы обработки шеек маятников акселерометров.

Тонкое фрезерование	Тонкое шлифование	Алмазное растачивание	Электрохимическая обработка
Не выдерживаются требования к точности изготовления, высокая шероховатость, большие силовые воздействия, приводящие к возникновению наклепа в поверхностном слое	Не выдерживаются требования к точности изготовления, дефекты в виде, прожогов	Не выдерживаются требования к точности изготовления, высокая шероховатость, частичные дефекты в виде, царапин и локальных прожогов	Не выдерживаются требования к точности изготовления, неоднородное растравливание поверхности заготовки

Дефекты, возникающие при обработке перемычек маятников, различны по своей природе и зависят от метода обработки (рис. 2).



а) ***б***)

в)

Рис. 2. Типовые дефекты, возникающие в процессе обработки шейки маятника различными методами обработки: *а*) оплавление при электроэрозионной резке контура; *б*) разъедание металла в месте перехода при электрохимической обработке; *в*) деформация перемычки в месте перехода при силовом воздействии фрезы или резца.

У всех вышеуказанных методов обработки существуют недостатки. При обработке перемычки фрезерованием образуется большой наклёп и не обеспечивается требуемая шероховатость поверхности. Попытка получить перемычку электроэрозионным способом приводит к оплавлению шейки маятника. Обработка шлифованием может быть использована только на этапах предварительной обработки перед доводкой, так как не обеспечивает требования к точности и шероховатости детали. При обработке электрохимическими методами практически невозможно контролировать анодное растворение металла. Обработка этими методами приводит к ухудшению качества и появлению ряда дефектов, которые недопустимы в прецизионных приборах.

Ни один из вышеперечисленных методов не обеспечивает требуемое качество поверхности и требует введения дополнительных доводочных процедур [3; 4].

Цель статьи – выявление путей изготовления маятников акселерометров, позволяющих обеспечить необходимое качество и эксплуатационные свойства.

Изложение основного материала. Для обеспечения заданных требований обработки поверхностей маятников могут быть использованы процессы доводки и полирования. Процесс доводки позволяет обеспечить требуемые параметры точности обрабатываемых поверхностей, процесс полирования – заданную шероховатость поверхности, однако получение этих параметров

носит нестабильный характер, а сами процессы формообразования являются трудноуправляемыми.

Отсутствие достаточного опыта по обработке таких поверхностей приводит к дестабилизации показателей процесса. Технологические режимы назначаются исходя из интуиции технолога или неадекватных рекомендаций, приведенных в справочной литературе. При прогнозировании состояния ТС используются эмпирические модели протекания технологического процесса, полученные методами многофакторного планирования эксперимента. Погрешность таких моделей в ряде случаев достигает 100–300%, что не позволяет их использовать для расчета режимов резания при доводке и полировании поверхностей прецизионных деталей приборов.

Вместе с тем процессы доводки и полирования имеют сложную стохастическую природу, что приводит к разбросу показателей качества изделий и не позволяет использовать все возможности этих методов вследствие отсутствия адекватного математического описания процесса.

Обеспечение качества и эффективности на финишных операциях возможно только на основе разработки стохастических моделей, учитывающих вероятностную природу этих процессов. Необходимо комплексное решение этих задач, совокупность которых представляет собой нерешенную до настоящего времени задачу.

Таким образом, выполненный анализ показывает, что единственным способом, обеспечивающим изготовление изделий с требуемым качеством, является доводка с последующим полированием. Она позволяет одновременно получать поверхности с шероховатостью до Ra = 0,050…0,010 мкм, точную форму с отклонением не более 0,1–2 мкм, точное взаимное расположение в пределах 2–5 мкм, отклонения от заданных размеров в пределах 1–3 мкм.

До настоящего времени развитие теории доводки преимущественно шло по пути установления и научного обобщения экспериментальных данных. В результате этих исследований предложен ряд зависимостей, позволяющих рассчитать глубину внедрения абразивного зерна в материал заготовки и притира, температуру в зоне резания, определить вероятность упругого и пластического деформирования микрообъемов металла абразивными зернами, вероятность микрорезания. Построены зависимости получаемой шероховатости от размера абразивных зерен и удельного давления на притир. Экспериментальные данные позволили построить эмпирические зависимости для расчета режимов резания и параметров качества [5; 6].

Существующие математические модели и методы определения отдельных показателей процесса, как правило, не учитывают всего многообразия факторов стохастического характера, влияющих на вышеуказанные процессы, что выражается в постоянном изменении с течением времени состояния технологического процесса. Отсутствие моделей, позволяющих назначить режимы резания, затрудняет проектирование технологического процесса с целью обеспечения стабильности параметров качества получаемых изделий.

Процессы резания-царапания при доводке и полировании во многом зависят от характера движения зерна, который определяется нормальной нагрузкой, скоростью относительного перемещения, твердостью и шероховатостью контактирующих поверхностей и смазкой (рис. 3).

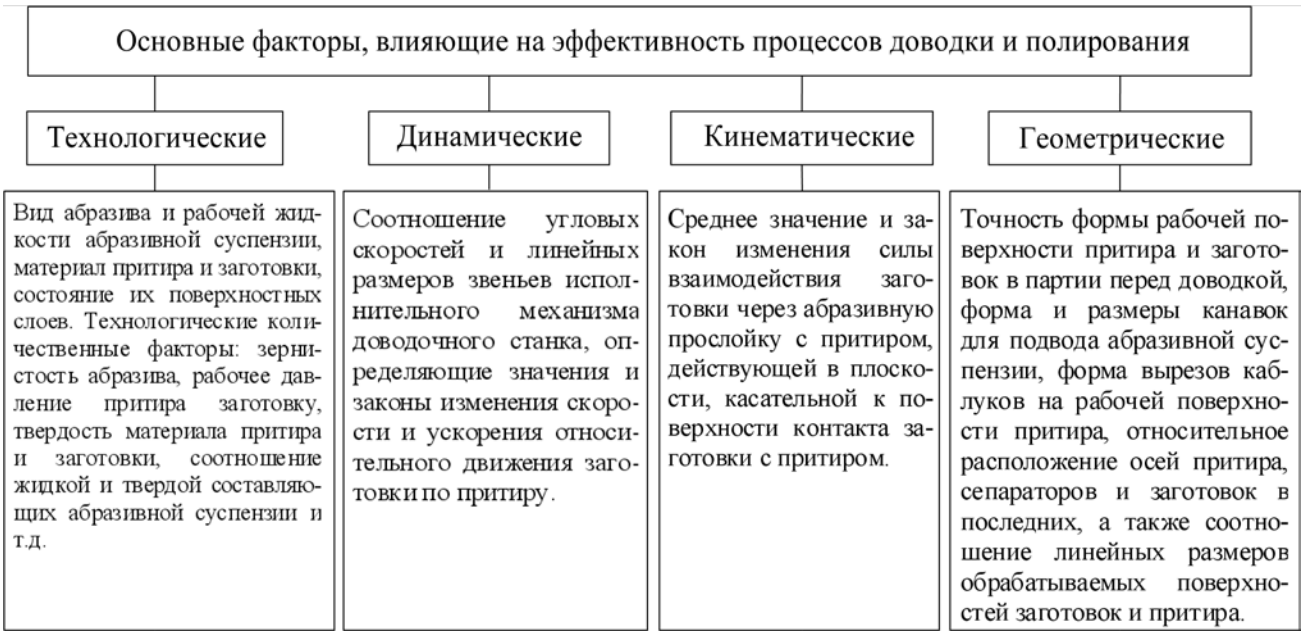


Рис. 3. Основные технологические факторы, влияющие на эффективность доводки.

В процессах доводки и полирования зёрна могут скользить, перекатываться или проскальзывать с перекатыванием. Существенное влияние на характер движения зерна оказывают однородность зернового состава и форма зерна.

При исследовании процессов доводки и полирования заготовок незакреплённым и закреплённым абразивом основными задачами при абразивном разрушении твердых тел являются определение наиболее вероятной схемы силового взаимодействия незакреплённых и закреплённых абразивных зёрен с материалом заготовки; исследование состояния материала заготовки и притира в зоне взаимодействия зерна с изнашиваемым телом; определение характера разрушения взаимодействующих твердых тел системы «заготовка – абразивная прослойка – притир» при различных условиях и режимах доводки.

Перечисленные факторы могут быть независимыми или зависимыми от времени процесса доводки переменными. Многообразием этих факторов и влиянием каждого из них на показатели процесса доводки и полирования, в зависимости от их сочетания, объясняют методологические трудности и в исследованиях физической сущности процесса, и в установлении основных закономерностей, определяющих его показатели.

Цикл доводки можно осуществлять как с постоянным давлением [6], так и с изменением давления за время операции, однако научно обоснованных рекомендаций по выбору величины давления для обработки прецизионных поверхностей деталей приборов на сегодняшний день нет. На практике подбор осуществляют опытным путём.

С увеличением давления возрастает силовое воздействие на абразивное зерно, и крупные одиночные зёрна раскалываются. Происходит резание-царапание с постепенным скалыванием выступов зерна, таким образом осуществляется самозатачивание. В результате повышается производительность и уменьшается шероховатость при незначительном шаржировании поверхности изделия. Большое удельное давление, превышающее предел прочности, разрушает абразивные зёрна: возрастает степень шаржирования, интенсивность съёма падает и ухудшается качество обработанной поверхности.

Чем выше скорость перемещения инструмента по обрабатываемой детали, тем меньше по времени длится обработка. Обычно скорость рабочего движения на предварительных доводочных операциях равна 40…120 м/мин; окончательная доводка производится при скорости 15…30 м/мин, прецизионная доводка при скорости 5…10 м/мин. Однако при слишком высоких скоростях снижается стойкость режущего инструмента, преждевременно разбрасываются СОТС и абразивно-доводочная или абразивно-полировальная смесь. Все это вызывает ненужный нагрев детали, ухудшает шероховатость обработанной поверхности и может привести к производственному браку. В процессе обработки на универсальных доводочных станках при больших окружных скоростях (до 300 м/мин) в более отдаленных точках дисков-притиров скапливаются крупные абразивные зерна, что также является одной из причин, вызывающих отклонение формы от некруглости и нецилиндричности обрабатываемых деталей.

Фундаментальные исследования по влиянию кинематики процессов доводки и полирования на точность формы и шероховатость поверхности приведены в работах профессора П. Н. Орлова [3; 4]. Проведенные им исследования убедительно показывают, что вышеуказанные процессы выгодно отличаются от других методов обработки.

Вибрации, приводящие к волнистости, например, при плоском шлифовании, вследствие влияния жесткости системы СПИД и базирования деталей и инструмента на различных узлах станка (стол и шлифовальный шпиндель, соответственно) при доводке исключаются, так как детали базируются на инструменте (например, на рабочей поверхности доводочного диска). При этом точность обработки зависит от точности формы доводочного инструмента и изменения ее в процессе доводки. Износ инструмента связан с кинематикой относительного движения деталей по его поверхности.

Анализ информации по серийно выпускаемому оборудованию для доводки шеек маятников не дал положительного результата. В связи с этим возникает задача по разработке и изготовлению такого оборудования.

На процесс образования микрорельефа поверхности существенное влияние оказывают пластические деформации, которые при микрорезании приводят к снижению доли удаляемой части металла. С целью повышения точности при вычислениях вероятности удаления материала необходимо учитывать только ту часть сечения абразивного зерна, в пределах которой металл удаляется в виде стружки, для этого в первом приближении достаточно умножить размеры профилей вершины абразивных зёрен на коэффициент стружкообразования.

Использование оптимального количественного соотношения абразивных зёрен и рабочей жидкости в суспензии позволяет сократить расход абразива на 50…90%. Объем подаваемой суспензии в единицу времени имеет оптимум,

величина которого зависит от оптимального количества абразива. Количество подаваемой в зону доводки жидкости в единицу времени оказывает такое же влияние, как и скорость доводки, и давление.

Эффективность процесса доводки и полирования определяется не только родом абразивного материала и размерами зёрен, но и составом доводочных паст. В состав паст и суспензий вводят смазывающие, охлаждающие диспергирующие и омыляющие вещества. Неабразивная часть или жидкотекучие составляющие паст и суспензий должны выполнять следующие основные функции:

1) обеспечивать равномерное распределение жидкости и абразивных зёрен по поверхности притира и детали;
2) устранять слипание частиц стружки, отработанных измельченных зёрен и зёрен мелкой фракции;
3) улучшать условия диспергирования и формообразования обрабатываемой поверхности детали;
4) охлаждать обрабатываемые поверхности.

Выполнение первых двух основных функций неразрывно связано с такими свойствами жидкостей, как смачивающая способность и вязкость [7; 8].

Повышение поверхностного натяжения и вязкости затрудняет подвод смазочного состава в зону обработки. Однако увеличение консистенции смазочного состава иногда необходимо для улучшения условий хранения состава, например, доводочных паст. Для этого в смазочные масла или в другие жидкости вводят твердые наполнители (загустители), ограничивающие их текучесть.

Эффективность использования паст и суспензий зависит от свойств их составляющих компонентов. Свойства паст и суспензий могут характеризоваться следующими параметрами:

1) рецептурой состава неабразивной части пасты (суспензии);
2) консистенцией состава (условной твердостью);
3) смазочностью состава: растекаемостью по абразивному и обрабатываемому материалам, а также вязкостью (при различных температурах).

Неабразивная часть паст и суспензий улучшает диспергирование и формирование обрабатываемой поверхности. Это связано со свойствами жидкостей, которые способны образовывать (адсорбировать) на этой поверхности различного рода пленки. Подобные свойства улучшаются с введением в состав жидкостей некоторых поверхностно-активных, обычно полярных, веществ (ПАВ).

Действие жидкостей, содержащих ПАВ, на процесс срезания стружки различные авторы объясняют по-разному [9; 10].

Смазочные свойства различных масел могут быть улучшены искусственным введением в их состав различных полярных соединений: жирных кислот, спиртов и других соединений с полярной группой на конце. Такие полярные соединения улучшают смазочные свойства масел за счёт способности образовывать на поверхности трения адсорбированные мономолекулярные слои, плёнки.

На основе литературных данных по созданию паст и суспензий можно отметить следующее.

1. Водные суспензии и водорастворимые доводочные пасты в настоящее время обладают рядом недостатков, ограничивающих их широкое применение. Чаще всего могут быть созданы водные растворы неорганических солей в смеси с органическим ПАВ и наполнителями. Из органических ПАВ могут найти применение водорастворимые спирты, эфиры, амины и аминоспирты, неионогенные ПАВ ОП-7 и ОП-10, соли аминов, жирных и фосфорсодержащих кислот.

2. Основным представителем коллоидных дисперсий может служить раствор масла в воде или воды в масле. В такие составы, кроме воды и масла, необходимо вводить эмульгаторы и стабилизаторы коллоидной структуры и различные наполнители. В качестве эмульгатора и стабилизатора могут быть использованы ПАВ, в первую очередь аминоактивные вещества: мыла высших органических кислот (обычно насыщенных кислот жирного ряда и выше), соли нафтеновых, смоляных, сульфо-кислот алкилсерных и др.

3. Анализ авторских свидетельств по СОТС, применяемых при обработке металла резанием, показывает, что в качестве эмульгаторов в настоящее время используют канифоль, мылонафт, окисленный петролатум, спирты, гликоли, касторовое масло, растительные масла, неионогенные ПАВ (оксиэтилированные соединения: фенолы, алкилфенолы, жирные кислоты, амины), соли аминоспиртов и жирных кислот, полиаминов и синтетические жирные кислоты фракций С1–С7, сочетание неионогенных и анионоактивных эмульгаторов (смесь неионогенных ПАВ с сульфонатами, аминами и солями жирных кислот) и т. д. К этому же разряду смазочных составов можно отнести доводочные пасты, у которых в качестве эмульгатора использованы хозяйственное мыло и оксиэтилированный алкинфенол и другие вещества.

4. В качестве неабразивной части паст могут быть использованы консистентные смазки (например, солидол, консталин), алюминиевые и т. д.

Выводы.

1. Шероховатость и точность изготовления деталей являются важнейшими показателями качества, которые оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства готовых изделий (приборов машин). Окончательно шероховатость и точность формируются на финишных операциях технологического процесса. Для упругих элементов, таких как маятники акселерометров, работающих при знакопеременных нагрузках, в качестве таких операций целесообразно использовать процессы доводки и полирования абразивными и алмазными пастами.

2. Достижение требуемой гарантированной точности и шероховатости при обработке таких деталей в настоящее время представляет собой существенные трудности вследствие нестабильности технологического процессов доводки и полирования.

3. Существующие математические модели и методы отдельных показателей процесса не учитывают всего многообразия влияющих факторов стохастического характера процессов доводки и полирования, что выражается в постоянном изменении с течением времени состояния технологического процесса.

4. Интенсификация процессов доводки и полирования при стабильности обеспечения требуемых показателей может быть достигнута за счет создания математических моделей операции, позволяющих прогнозировать показатели качества. При этом особое внимание должно быть уделено формированию этих показателей во времени. Большую роль также играет возможность оценки не только отдельных, но и комплексных параметров, таких как съём металла, силы резания, шероховатость обработанной поверхности и другие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Братан С. М. Повышение эффективности обработки прецизионных деталей приборов на основе автоматического оптимального управления съемом припуска : дис. на соискание научной степени канд. техн. наук : спец. 05.13.07 «Автоматизация технологических процессов и производств» / С. М. Братан. – Севастополь, 1990. – 209 с.
2. Сазонов С. Е. Повышение эффективности процесса доводки прецизионных поверхностей маятников акселерометров : дис. на соискание научной степени канд. техн. наук : спец. 05.03.01 «Процессы механической обработки, станки и инструменты» / С. Е. Сазонов. – Севастополь, 2011. – 153 с.
3. Орлов П. Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки / П. Н. Орлов. – М. : Машиностроение, 1988. – 384 с.
4. Доводка прецизионных деталей машин / [П. Н. Орлов, А. А. Савелова, В. А. Полухин, Ю. И. Нестеров] ; под ред. Ипполитова. – М. : Машиностроение, 1978. – 256 с.
5. Масловский В. В. Справочник по доводочным работам / В. В. Масловский. – Харьков : Прапор, 1985. – 121 с.
6. Масловский В. В. Новое в технологии абразивной доводки / В. В. Масловский. – Харьков : Прапор, 1969. – 84 с.
7. Абразивная и алмазная обработка материалов : справочник / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. Н. Резникова. – М. : Машиностроение, 1977. – 391 с.
8. Кутяков В. Н. Исследование процесса доводки поверхностей : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук / В. Н. Кутяков. – Одесса, 1971. – 20 с.
9. Абразивно-алмазная обработка и доводочные процессы : справочник / под ред. А. А. Масловского. – М. : Машиностроение, 1986. – 196 с.
10. Богомолов Н. И. О сущности процесса абразивной доводки / Н. И. Богомолов // Передовая технология и автоматизация управления процессами обработки деталей машин. – Л. : Машиностроение, 1970. – С. 98–105.

УДК 621.923

Богуцкий В. Б., Шрон Л. Б., Шрон Б. Л., Богуцкий Б. В.

ОСОБЕННОСТИ ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ С ПРЕРЫВИСТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В статті наведена методика правки шліфувального круга з переривчастою поверхнею, що дозволяє скоротити витрати обсягу шліфувального кола, а також замислене пристосування, що дозволяє реалізувати цей процес.

Ключові слова: *шліфувальний круг, переривчаста поверхню, процес виправлення, магнітострикційні перетворювач.*

В статье приведена методика правки шлифовального круга с прерывистой поверхностью, позволяющая сократить расход объёма шлифовального круга, а также спроектировано приспособление, позволяющее реализовать этот процесс.

Ключевые слова: *шлифовальный круг, прерывистая поверхность, процесс правки, магнитострикционный преобразователь.*

In the article the technique of grinding wheel dressing with discontinuity surface, allowing to reduce the consumption volume of grinding wheel, as well as the designed device, allowing to implement the process.

Key words: *grinding wheel, dash surface, the process of dressing, magnetostrictive transducer.*

Постановка проблемы. Интенсивность затупления кругов оказывает большое влияние на производительность шлифования, шероховатость обрабатываемой поверхности и точность геометрических размеров обрабатываемых деталей.

Анализ научной литературы. Воспринимаемые режущими зёрнами нагрузки при шлифовании вызывают интенсивное их истирание или выкрашивание из связки. Шлифовальный круг теряет режущую способность и отклоняется от заданной геометрической формы. Это связано с тем, что в зоне контакта шлифовального круга с деталью возникают высокие температуры, под воздействием которых металл размягчается и налипает на режущие зёрна. Для восстановления режущих свойств и первоначальной формы круга необходима правка. Правка шлифовальных кругов восстанавливает их режущую способность, утерянную вследствие затупления абразивных зёрен, а также засорения пор отходами шлифования; восстанавливает первоначальную форму круга, утерянную вследствие неравномерного самозатачивания или износа; профилирует, т. е. придает кругу требуемую сложно фасонную форму; восстанавливает положение режущей кромки круга относительно обрабатываемой детали [1; 2].

Правка шлифовального круга оказывает существенное влияние на производительность процесса шлифования. За счет соответствующих режимов правки шлифовальные круги средней зернистости могут обеспечивать шероховатость поверхности Ra = 0,08–0,025 мкм. Чем быстрее изнашивается круг, особенно при профильном шлифовании, тем чаще требуется производить его правку. Чем выше стойкость кругов, тем реже производится правка, тем выше коэффициент полезного его использования. Для различных случаев и условий шлифования износ рабочей части круга при правке составляет 50…95%, т. е. коэффициент использования кругов составляет лишь 0,05…0,5.

Правку круга следует рассматривать как самостоятельный процесс обработки, где обрабатываемой деталью является шлифовальный круг, а обрабатывающим инструментом – алмаз, алмазные ролики и другие правящие инструменты. Наиболее часто для правки шлифовальных кругов применяется следующие методы.

1. Правка шлифовальных кругов алмазами по кинематике движений подобная процессу точения. Для правки методом фасонного обтачивания применяются алмазно-металлические карандаши, алмазы в оправах и алмазные иглы.

2. Правка обкатыванием более производительна, однако вызывает больший расход абразивных кругов по сравнению с правкой обтачиванием. Она осуществляется с помощью твердосплавных шарошек или правящих алмазных роликов.

3. Наиболее рациональна правка абразивных кругов алмазными роликами по методу шлифования. Здесь инструмент получает принудительное вращение. Надежность работы системы правки абразивных инструментов может быть повышена при переходе от однокристальных инструментов к многокристальным.

Перечисленные выше методы правки хорошо применимы при правке кругов с непрерывной поверхностью, а для кругов с прерывистой поверхностью необходима специальная оснастка, позволяющая сохранять прерывистый профиль и обеспечить сокращение расхода шлифовального круга.

Цель статьи – разработка схемы приспособления для правки шлифовальных кругов с прерывистой поверхностью.

Изложение основного материала. Методика правки прерывистого круга, позволяющая сократить расход объема шлифовального круга предложена в [3]. Для правки шлифовального круга используется правящий инструмент, который на поверхности круга прорезает впадины, имеющие длину в окружном направлении, равную длине выступов. Глубина впадин должна быть равна полусумме допускаемого износа шлифовального круга между правками и глубины $\Delta h_{пр}$ снимаемого при правке дефектного слоя. В частном случае глубина впадин может быть равна размаху колебаний. При каждом новом цикле правки фазу колебаний правящего инструмента необходимо сдвинуть на 180º.

Впадины образуются за счет периодического контакта правящего инструмента с поверхностью, круга. При каждом новом цикле правки правящий инструмент срезает оставшиеся после износа шлифовального круга выступы на глубину $\Delta h_{пр}$ дефектного слоя. В результате этого на месте каждого выступа образуется впадина. Выступ образуется на месте ранее существовавшей впадины.

Предлагаемое нами приспособление (рис. 1) позволяет реализовать процесс правки шлифовального круга с прерывистой рабочей поверхностью.

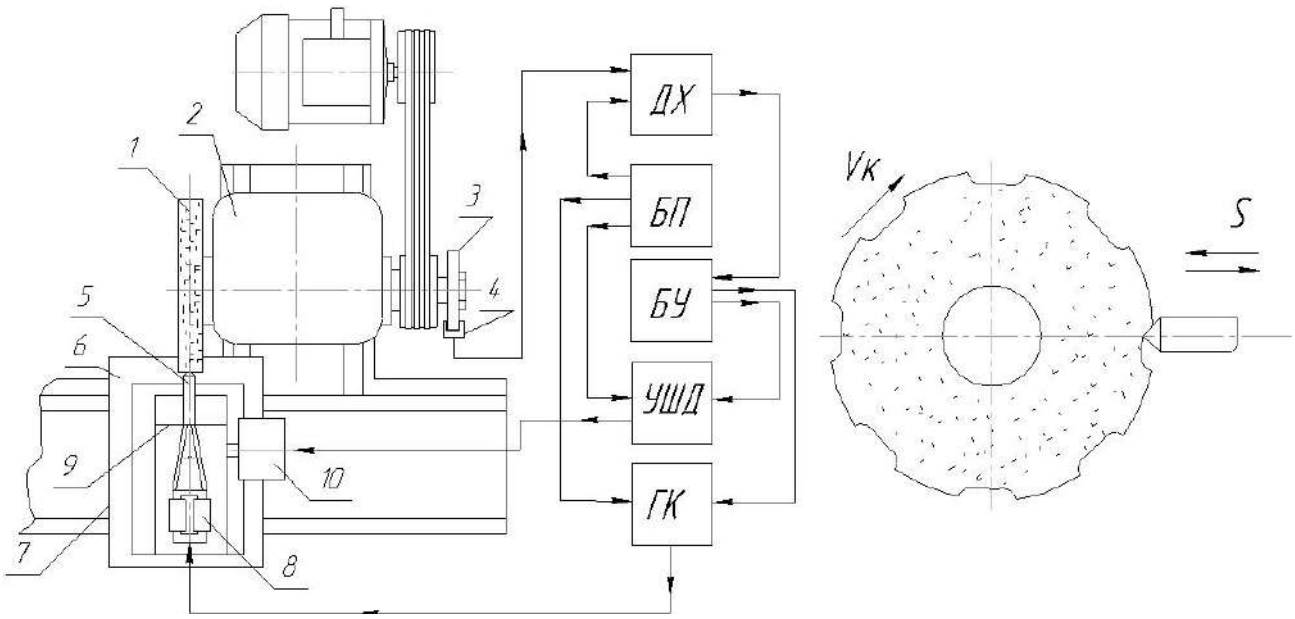


Рис. 1. Схема приспособления для правки шлифовального круга с прерывистой рабочей поверхностью.

Для правки шлифовального круга 1 без снятия его со шпинделя 2 на направляющие 7 плоскошлифовального станка устанавливается приспособление, состоящее из магнитостриктора 8 и алмазного карандаша 5, закрепленного на мембране 9, установленных в корпусе на плите 6. На одной оси со шлифовальным кругом закреплен сменный диск 3, поверхность которого разделена на секторы (металлические и неметаллические). Число секторов и их длина зависит от количества выступов и впадин на поверхности шлифовального круга. С диском 3 контактирует датчик Холла 4, который при прохождении металлического сектора подаёт сигнал, поступающий в преобразователь сигналов датчика Холла. Сигнал передается через блок управления (БУ) на генератор ультразвуковых колебаний (ГК). Импульс из ГК поступает на магнитостриктор 8, преобразующий подаваемый импульс в механические перемещения алмазного карандаша 5 и врезания его в поверхность круга – таким образом формируется впадина. Когда сигнал перестает поступать, карандаш 5 под действием мембраны 9 возвращается в начальное положение до поступления нового сигнала – на поверхности колеса образуется выступ.

Периодическое перемещение корпуса с магнитостриктором и правящим инструментом вдоль оси шлифовального круга осуществляется шаговым электродвигателем (ШЭД) 10, через винтовую пару. Сигнал на шаговый электродвигатель подается с БУ через блок управления ШЭД (УШД). Питание всей системы осуществляется от блока питания (БП).

Для правки шлифовального круга используется алмазно-металлический карандаш. Он имеет цилиндрическую форму длиной 45…50 мм, диаметром 6…8 мм, в котором зёрна 0,3…0,01 карат сцементированы специальным сплавом (80 вольфрама, 20 меди, 2 алюминия). Карандаши изготавливают трёх типов в зависимости от расположения зёрен: Ц (вдоль оси), С, Н (беспорядочно). Для правки кругов при круглом наружном шлифовании обычно используются карандаши типа С – алмазные зерна располагаются слоями. Правку алмазными карандашами производят по методу точения при подаче 0,4 м/мин и скорости круга 30–35 м/с. При появлении на алмазе площадок износа диаметром 0,1–0,3 мм его следует поворачивать на угол 30–40° вокруг своей оси, используя другие режущие грани зерна. Для более эффективного использования алмазно-металлических карандашей их следует располагать по отношению к оси круга под углом 10–15° со смещением точки касания от этой оси в направлении вращения круга на 1–1,5 мм.

В разрабатываемом приспособлении в качестве преобразователя подаваемого импульса в механические перемещения алмазного карандаша используется магнитострикционный преобразователь. Явление магнитострикции заключается в том, что ферромагнитное тело при намагничивании изменяет свои геометрические размеры, т. е. деформируется. В ферромагнетике возможны два вида магнитострикции: линейная, при которой происходит изменение геометрических размеров тела в направлении приложенного поля, и объемная, при которой геометрические размеры тела изменяются во всех направлениях. В магнитострикционных преобразователях используется линейная магнитострикция. В станках мощностью от 1 до 4 кВт для крепления ультразвуковых преобразователей широко при-

меняют трёхполуволновую систему с креплением в узле переходного стержня при помощи фасонной мембраны.

Амплитуда колебаний магнитострикционного пакета недостаточна для целого ряда технологических процессов. Поэтому применяют концентраторы, усиливающие амплитуду колебаний до необходимого значения. В данном случае используется конусный концентратор (рис. 2).

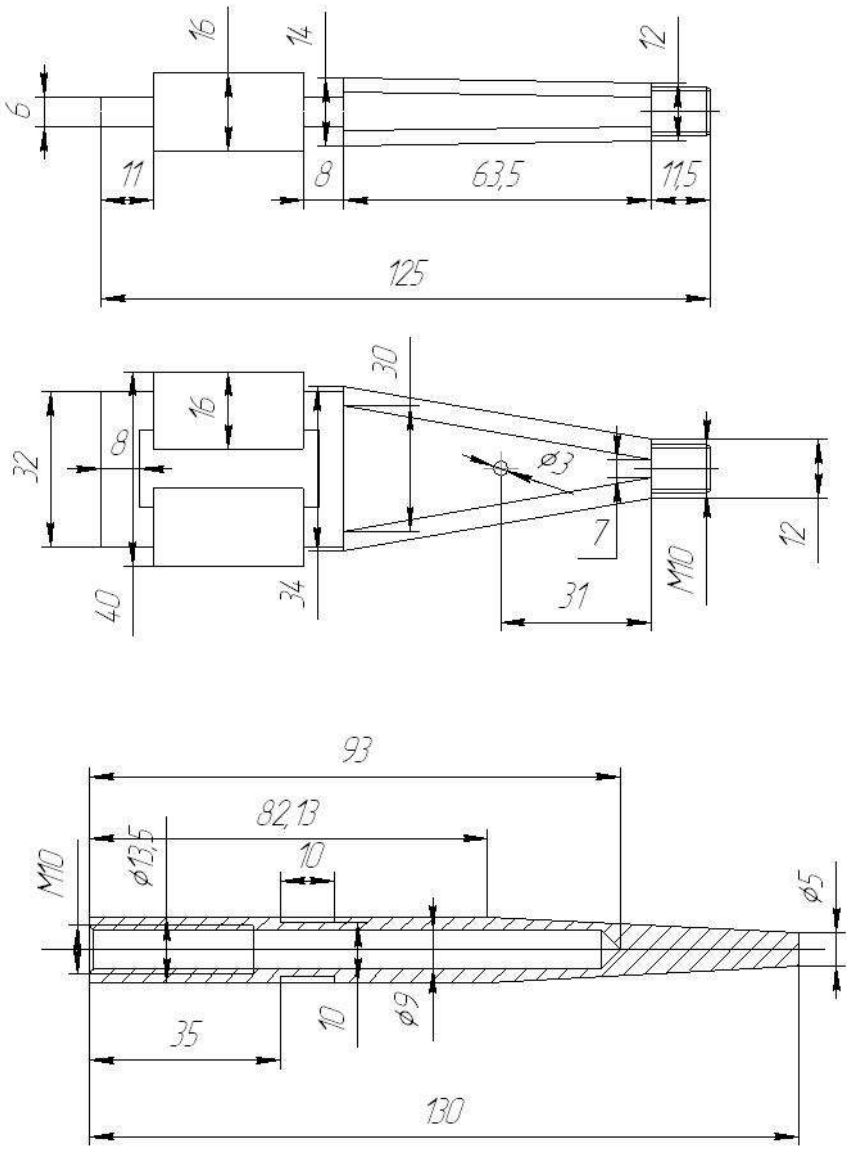


Рис. 2. Магнитострикторы и концентратор конусный.

Данные концентраторы дают наихудший коэффициент трансформации, но они просты в изготовлении и расчете и надежны в эксплуатации.

При техническом расчёте концентраторов вводят следующие допущения:

- вдоль концентратора распространяется плоская волна;
- колебания концентратора носят гармонический характер;
- концентратор колеблется только вдоль осевой линии, т. е. поперечные колебания отсутствуют.

Закон изменения образующей:

$$D_x = D_0 \cdot (1-\alpha), \qquad (1)$$

где D_0 – больший диаметр усеченного конуса;
α – коэффициент, рассчитываемый по формуле:

$$\alpha = \frac{D_0 - d}{D_0 \cdot l_k}, \qquad (2)$$

где d – малый диаметр усеченного конуса;
l_k – длина концентратора.

$$A = \frac{13{,}5-5}{13{,}5 \cdot 130} = 0{,}005$$

$$D_x = 13{,}5(1 - 0{,}005) = 13{,}4325$$

Теоретический коэффициент усиления амплитуды:

$$k_y = \sqrt{1+(2\pi L_K)^2}, \qquad (3)$$

$$k_y = \sqrt{1+(3{,}14 \cdot 130)^2} = 408{,}2.$$

Резонансная полуволновая длина:

$$l_k = \frac{1}{2} \cdot (\frac{\alpha \cdot l_k}{\pi}), \text{ см}, \quad (4)$$

где α и l_k – корни уравнения:

$$\operatorname{tg}(\alpha l_k) = \frac{\alpha l_k}{\frac{(\alpha l_k)^2 \cdot N}{(1-N^2)} + 1}, \quad (5)$$

$$\alpha l_k = 0{,}005 \times 130 = 0{,}65,$$

$$l_k = \frac{0{,}5 \times 0{,}65}{3{,}14} = 0{,}104 \text{ см}.$$

Координата узла смещения:

$$X_0 = \frac{1}{\alpha} \cdot \operatorname{arctg}(\frac{\alpha_п}{\alpha}), \text{ см}, \quad (6)$$

где $\alpha_п$ – коэффициент потерь, $\alpha_п = 0{,}015 \times 10^{-3}$.

$$X_0 = \frac{1}{0{,}005} \cdot \operatorname{arctg}(\frac{0{,}015 \cdot 10^{-3}}{0{,}005}) = 34{,}4 \text{ см}.$$

Обычно концентратор рассчитывают на резонансную частоту магнитострикционного преобразователя, измеренную опытным путём.

Основным недостатком магнитострикционных преобразователей является опасность их перегрузки по мощности. Термические напряжения, возникающие в материале, приводят к трещинам, а затем и к разрушению преобразователя. Расчёт на соответствие мощности, выделяемой на активном сопротивлении нагрузки, допустимому (максимальному) производится по данным, полученным во время обработки, т. е экспериментально.

Правка шлифовального круга без снятия его со шпинделя плоскошлифовального станка осуществляется следующим образом (см. рис. 3).

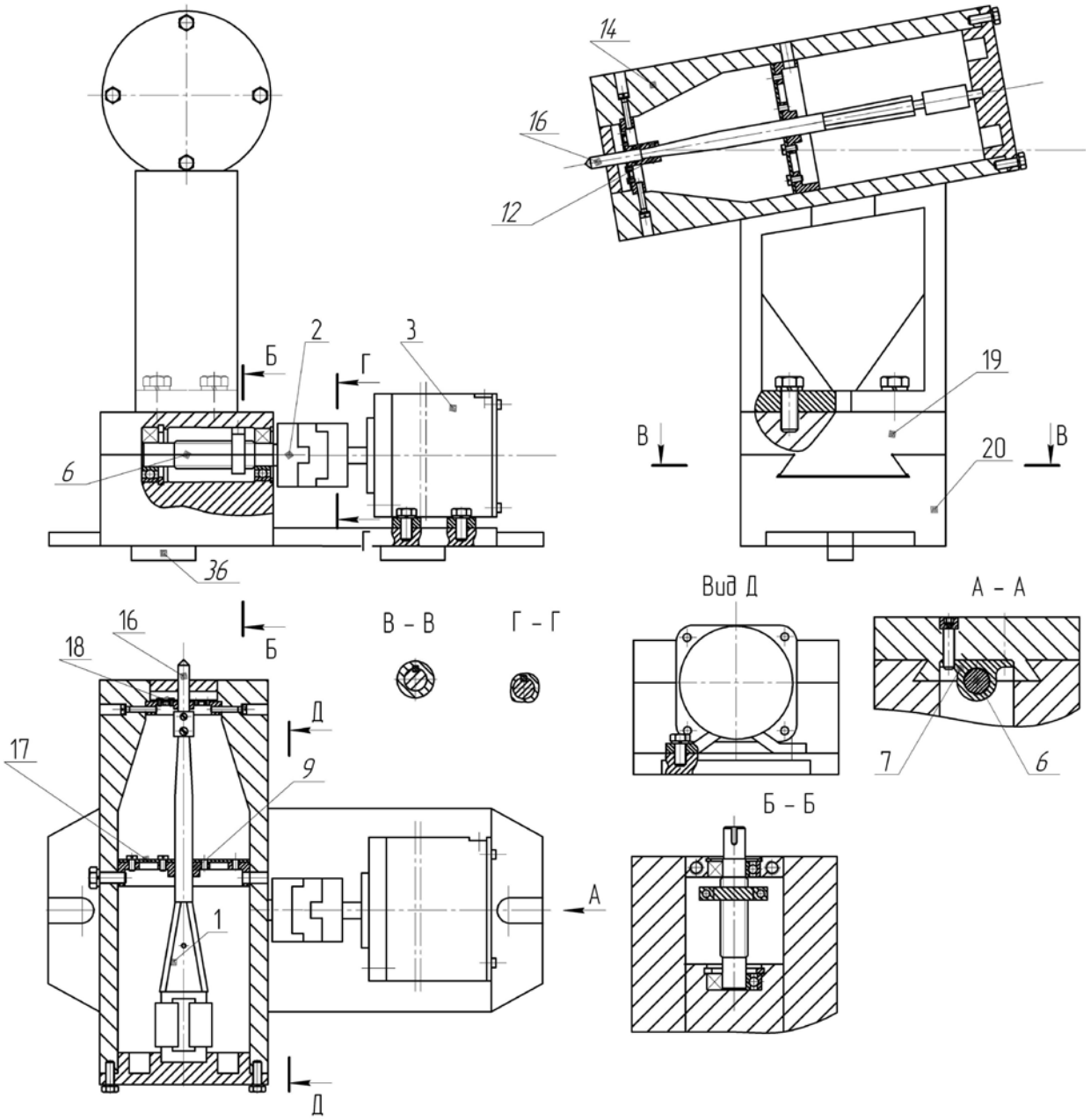


Рис. 3. Устройство для правки шлифовального круга.

На направляющие данного станка устанавливается приспособление. Каркас приспособления состоит из корпуса 14, в котором крепится алмазно-металлический карандаш 16 и магнитостриктор 1, и двух опорных плит 19 и 20. Плита 20 служит для закрепления приспособления на направляющих и центрирования его с помощью шпонок 36. В корпусе 14 закреплен алмазно-металлический карандаш 16, которым при поступлении сигнала с магнитостриктора 3, совершается линейное перемещение и врезание в поверхность круга – происходит формирование впадины. Когда сигнал перестает поступать, карандаш 16 под действием мембраны 17 возвращается в начальное положение до поступления нового сигнала – на поверхности колеса образуется выступ. Для придания большей жесткости и предотвращения выпадения карандаша из корпуса 14 он, кроме мембраны 17, дополнительно фиксируется втулкой 9. Мгнитостриктор также закреплен с помощью мембраны 18. Соединение наконечника магнитостриктора с корпусом алмазно-металлического карандаша осуществляется втулкой 12. Периодическое перемещение корпуса с магнитостриктором и правящим инструментом вдоль оси шлифовального круга осуществляется шаговым электродвигателем 3 через винтовую пару, которая состоит из ходового винта 6, установленного в опорной плите 20, и гайки, которая крепится ко второй опорной плите 19. Вращение с вала электродвигателя на винт передается с помощью муфты 2.

Выводы. Предложенная конструкция приспособления позволит реализовать способ правки, при котором формирование впадин выполняется на месте выступов, что, в свою очередь, обеспечит сокращение расхода объема шлифовального круга до двух раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов В. Ф. Технология алмазной правки шлифовальных кругов / В. Ф. Романов, В. В. Авакян. – М. : Машиностроение, 1980. – 119 с.
2. Правка шлифовальных кругов алмазными инструментами и заменителями алмазов / под ред. канд. тех. наук А. Ф. Несмелова. – М. : Машгиз, 1960. – 104 с.
3. А. с. № 952556 СССР, кл. В 24, В 53/04. Способ правки шлифовального круга с прерывистой рабочей поверхностью / Ю. К. Новоселов ; заявл. 24.05.1979 ; опубл. 23.08.1982. Бюл. № 31.

УДК 621.941

Стреляная Ю. О., Новиков П. А., Братан С. М.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ НА ТЯЖЕЛЫХ СТАНКАХ

У статті наведено методику забезпечення точності положення заготовки на операціях чистового точіння.

Ключові слова: *точність, чистове точіння, ексцентриситет, показники якості.*

В статье приведена методика обеспечения точности положения заготовки на операциях чистового точения.

Ключевые слова: *точность, чистовое точение, эксцентриситет, показатели качества.*

In article describes a method of ensuring the accuracy of workpiece position on finish turning operations.

Key words: *precision, finish turning, eccentricity, indexes of quality.*

Постановка проблемы. Применение новых способов получения заготовок, уменьшение припусков на механическую обработку, совершенствование конструкций инструмента, создание станков с ЧПУ повышенной и особо высокой точности, высокое качество предварительной обработки позволили в качестве финишной операции на тяжелых станках использовать процессы чистового точения.

Однако, несмотря на положительные эффекты новых способов получения заготовок, до сих пор не ликвидированы недостатки, связанные с технологической наследственностью технологического процесса. Наличие существенного остаточного эксцентриситета заготовки после черновой обработки и связанные с этим задачи установки и выверки детали для выполнения финишных операций в настоящее время остаются нерешенными.

Анализ научной литературы [1–4] показал, что на этапе чистового точения с переустановкой детали появляется значительный эксцентриситет, который оказывает отрицательное влияние на выходные показатели качества обрабатываемой поверхности. С целью исправления этого недостатка для подготовки объекта к опе-

рации чистового точения необходимо разработать метод эффективной обработки заготовок на тяжелых станках.

Цель работы – разработка метода повышения эффективности процесса чистового точения при обработке заготовок на тяжелых станках.

Изложение основного материала. Сущность метода заключается в следующем: для исправления исходного эксцентриситета заготовки ε_1 создается дополнительный эксцентриситет $\Delta\varepsilon$ между центром детали и осью ее вращения. Обработка ведется со смещением оси наружной поверхности детали относительно оси вращения $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 - \Delta\varepsilon$. Величина задаваемого дополнительного эксцентриситета $\Delta\varepsilon$ определяется из выражения:

$$\Delta\varepsilon = \frac{\varepsilon_1(1-E)^{m_z}}{1-(1-E)^{m_z}}, \quad (1)$$

где ε_1 – исходный эксцентриситет заготовки, мм;
E – коэффициент, зависящий от условий точения;
m_z – число проходов.

Величина исходного эксцентриситета ε_1 определяется путем измерения. Значение коэффициента E определяется из следующего соотношения:

$$E = \frac{j}{K+j}, \quad (2)$$

где j – жесткость технологической системы, Н/м;
K – коэффициент, зависящий от условий точения, Н/м.

Значение коэффициента K, постоянного для данных условий обработки, определяется следующим образом:

$$K = \frac{P_y}{t \cdot \chi}, \quad (3)$$

где P_y – радиальное усилие резания, Н;
t – глубина резания, м.

Коэффициент m_z для точения с продольной подачей характеризует число проходов, необходимое для исправления исходного эксцентриситета ε_1. Его величина рассчитывается по зависимости:

$$m_z = \frac{\Pi + \varepsilon_1 - \Delta\varepsilon}{t}, \quad (4)$$

где П – минимальный припуск на сторону, м.

Время, затраченное на процесс точения для исправления исходного эксцентриситета:

$$\tau = \frac{L \cdot m_z}{nS}, \quad (5)$$

где n – частота вращения шпинделя, об/с;
L – длина обрабатываемой поверхности, м;
S – продольная подача, м/об.

Применение данного способа исправления эксцентриситета может быть эффективно использовано в адаптивной системе тяжелого токарного станка.

Для реализации вышеописанного способа были проведены экспериментальные исследования. Эксперименты проводились на станке для чистового точения CTU3500M(H) TORNI TACCHI, оснащенном тензометрическим устройствами, позволяющими измерять величину усилий резания при обработке и определять жесткость технологической системы. Число оборотов шпинделя станка подбиралось из условия обеспечения скорости резания 125 м/мин.

В качестве экспериментальных образцов были изготовлены образцы диаметром 1500 мм с разными исходными эксцентриситетами. При точении использовались специальные подвижные опоры и центра, позволяющие задавать определенную величину дополнительного эксцентриситета $\Delta\varepsilon$. В качестве режущего инструмента применялся токарный резец с пластиной из смешанной керамики на основе оксида алюминия (СС650). Режимы резания назначались согласно существующим рекомендациям и данным расчета. Измерение эксцентриситета до и после обработки ε_1 и $\varepsilon_{ост}$ (рис. 1) производилось лазерным интерферометром.

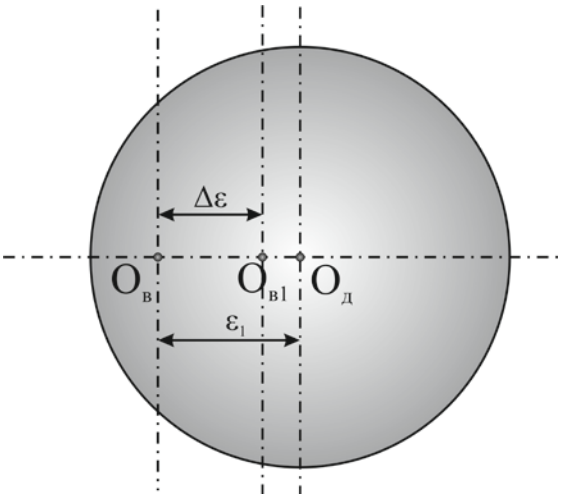


Рис. 1. Схема к реализации способа исправления эксцентриситета.

Величина исходного эксцентриситета ε_1 определялась как радиальное биение наружного диаметра.

Перед началом экспериментов определялась жесткость технологической системы.

Глубина резания за один проход рассчитывалась по зависимости:

$$t = \frac{(d_0 - d)}{2 \cdot m_z}, \quad (6)$$

где d_0 – диаметр заготовки до обработки, мм;
d – диаметр заготовки после обработки, мм.

Средняя величина припуска, снимаемого за 6 проходов резца, составила при данных режимах резания 0,3 мм.

Средняя глубина резания, определенная по формуле (6), t = 0,05 мм.

Средняя величина усилия P_y = 54,6 Н.

Величина коэффициента K определялась по формуле (3):

$$K = \frac{P_y}{t \cdot \chi} = \frac{54{,}6}{0{,}05 \cdot 10^{-6}},\ K = 10{,}92 \cdot 10^8.$$

Коэффициент E по выражению (2) составляет:

$$E = \frac{j}{K + j} = \frac{1{,}79 \cdot 10^8}{10{,}92 \cdot 10^8 + 1{,}79 \cdot 10^8} = 0{,}14.$$

Требуемое число проходов из выражения (4) равно:

$$m_z = \frac{0{,}3 + 0{,}06}{0{,}05} = 7{,}2.$$

Значения постоянных и коэффициентов, необходимых для расчета дополнительного эксцентриситета Δε, сведены в табл. 1.

Таблица 1.

Значения коэффициентов для расчета Δε.

j, Н/м	K, Н/м	E	m_z
$1{,}79 \cdot 10^8$	$10{,}92 \cdot 10^8$	0,14	7

При заданных режимах резания были обработаны заготовки без смещения оси вращения (Δε = 0) и с дополнительным эксцентриситетом (Δε ≠ 0), величина которого для каждого конкретного случая на основании данных, приведенных в табл. 2, и величины исходного эксцентриситета заготовки вычислялась по формуле (1). Суммарный эксцентриситет определялся из соотношения $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 - \Delta\varepsilon$.

Результаты экспериментов сведены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты экспериментов (чистовое точение).

№ опыта	Исходный эксцентриситет заготовки ε_1, мм	Дополнительное смещение Δε, мм	Остаточный эксцентриситет $\varepsilon_{ост}$, мм	Число проходов без дополнительного смещения, m_z	Число проходов с дополнительным смещением, m
1	0,055	0	0,016	7	
2	0,060	0	0,019	7	
3	0,062	0	0,018	7	
4	0,070	0	0,022	8	
5	0,055	0,029	0,007		6
6	0,060	0,032	0,007		6
7	0,062	0,033	0,009		6
8	0,070	0,037	0,008		7

На основании проведенных исследований установлено: для исправления исходного эксцентриситета заготовок ε_1 = 0,055 ÷ 0,07 мм, $\varepsilon_{ост}$ = 0,004 ÷ 0,008 мм, при точении без задания дополнительного смещения необходимо совершить до 7 проходов, т. е. в 1,5 раза больше, чем при точении с Δε ≠ 0.

Наличие остаточного эксцентриситета $\varepsilon_{ост}$ после точения с дополнительно задаваемым смещением Δε ≠ 0 объясняется наличием погрешностей при проведении экспериментов, а также тем, что точению, как и всякому процессу, присуще создание погрешностей, свойственных самому процессу.

Вывод. Проведенные эксперименты показали возможность использования данного способа для исправления исходного эксцентриситета заготовок. Использование предложенного метода позволяет сократить количество проходов, необходимых для исправления эксцентриситета, повысить точность и производительность процесса точения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования. Анализ и моделирование пространственно-временного взаимодействия инструмента и обрабатываемой поверхности чистовых и отделочных операций : дис. на соискание ученой степ. докт. техн. наук : спец. 05.03.01 «Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки» / Юрий Константинович Новоселов. – Барнаул, 1979. – 402 с.
2. Суслов А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / Анатолий Григорьевич Суслов. – М. : Машиностроение, 2000. – 320 с.
3. Коткина М. Г. Выбор режима резания на тяжелых токарных станках / М. Г. Коткина, В. Н. Черномаз, Л. М. Зуева // Станки и инструмент : научно-технический и производственный журнал. – 1983. – № 7. – С. 26–27.
4. Прогнозирование точности детали в процессе её изготовления / [В. В. Юркевич, Д. А. Чигинов, Д. Е. Искра, С. А. Козлов, П. Н. Емельянов] // Машиностроитель : производственно-технический журнал. – 2001. – № 3. – С. 34–40.

УДК 621.778

Хромов О. В., Харченко А. О.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РОЛИКОВОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ

Досліджено ефективність застосування роликових гасителів коливань в пристроях намотування довгомірних виробів. Запропоновано методику динамічного аналізу коливань в зоні намотування з урахуванням роликового демпфера.

Ключові слова: *намотувальний верстат, живляча та приймальна котушка, роликовий гаситель коливань, довгомірний виріб.*

Исследована эффективность применения роликовых гасителей колебаний в устройствах намотки длинномерных изделий. Предложена методика динамического анализа колебаний в зоне намотки с учетом роликового демпфера.

Ключевые слова: *намоточный станок, питающая и приемная катушка, роликовый гаситель колебаний, длинномерное изделие.*

Efficiency of application of roller extinguishers of vibrations is investigational in the devices of winding of a long-length product. The method of dynamic analysis of vibrations is offered in the area of winding taking into account a roller damper.

Key words: *winding machine, feed-in and receiving spool, roller extinguisher of vibrations, long-length product.*

Постановка проблемы. В намоточных станках, применяемых в производстве стальных канатов, кабелей и металлокорда, используются различные виды устройств для гашения колебаний технологического натяжения перематываемого изделия (проволока или прядь) [1; 2].

Использование подобных устройств позволяет снизить или полностью устранить влияние питающей катушки на колебания натяжения в зоне укладки изделия на приемную катушку, что повышает стабильность и качество процесса намотки.

Анализ научных публикаций показал, что эффективность и технические возможности гасителей колебаний применительно к намоточным станкам к настоящему времени не достаточно исследованы. В связи с этим возникает необходимость проведения теоретического анализа динамики демпфирующих устройств.

Целью данной **статьи** является динамический анализ эффективности работы роликового гасителя колебаний.

Изложение основного материала. Рассмотрим расчетную схему на рис. 1.

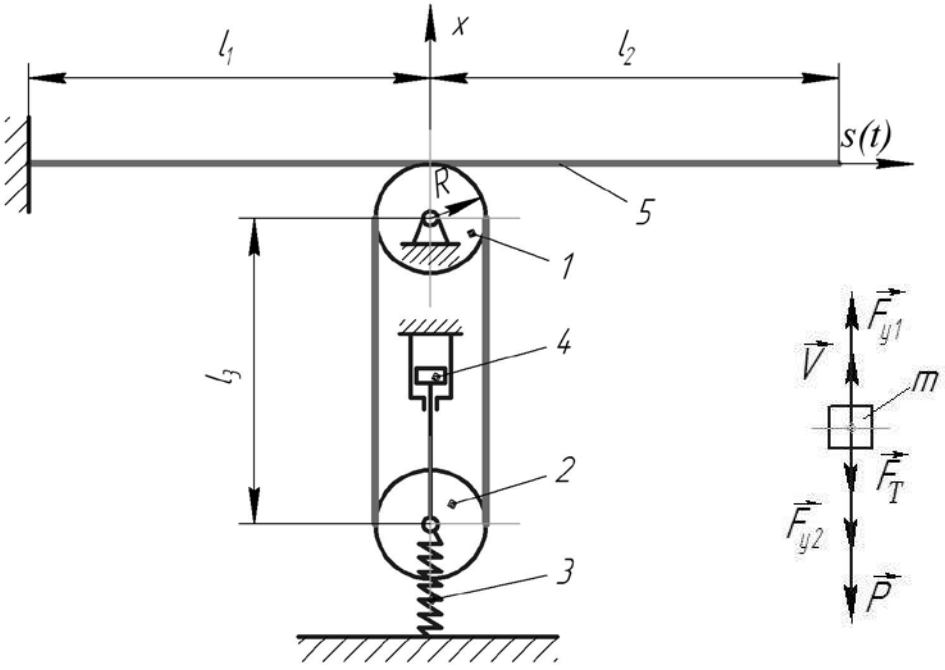


Рис. 1. Расчетная схема устройства для гашения колебаний натяжения: 1, 2 – шкивы; 3 – упругий элемент; 4 – демпфер; 5 – длинномерное изделие.

Устройство состоит из двух роликовых узлов 1, 2. Каждый из этих узлов представляет собой группу роликов, установленных на общей оси. Верхний узел 1 закреплен на шарнирно-неподвижной опоре, а нижний узел 2 установлен с возможностью вращения и вертикального перемещения. Узел 2 соединен с упругим элементом 3 и демпфером 4. Перематываемое изделие многократно огибает систему роликов.

Левый конец изделия условно закреплен, а правый конец подвергается принудительному возвратно-поступательному перемещению на величину $s(t)$, в результате чего изменяется величина натяжения. Основная задача проектирования данного устройства заключается в том, чтобы свести к минимуму изменение натяжения перематываемого изделия при заданной функции кинематического возмущения $s(t)$.

Для анализа изменения натяжения длинномерного изделия рассмотрим вертикальные колебания узла 2, которые описываются дифференциальным уравнением (начало координат помещаем в точке, соответствующей положению статического равновесия центра масс узла при заданной величине среднего натяжения F_0):

$$m\ddot{x} = F_{y1} + F_{y2} - P + F_{т}, \qquad (1)$$

где $F_{y1} = 2n \cdot N$ – суммарная сила упругости всех ветвей пряди;

$F_{y2} = -2n\,F_0 + mg - c_2 \cdot x$ – сила упругости пружины;

$P = mg$ – собственный вес узла;

$F_{т} = -b \cdot \dot{x}$ – сила трения, действующая со стороны демпфирующего устройства;

b – коэффициент трения;

F_0 – заданная величина статического натяжения пряди;

n – количество ветвей пряди на роликах;

$N = c_p \cdot \Delta l$ – натяжение пряди;

c_p, c_2 – коэффициенты жесткости пряди и пружины, соответственно;

Δl – полное абсолютное удлинение пряди в устройстве;

x – перемещение центра масс нижнего узла.

Полное удлинение пряди можно представить как сумму статического удлинения $\Delta l_0 = \dfrac{F_0}{c_p}$, удлинения за счет перемещения узла $\Delta l_1 = -2n \cdot x$ и удлинения за счет перемещения правого конца пряди в устройстве (см. рис. 1) $\Delta l_2 = s(t)$, то есть $\Delta l = \Delta l_0 - 2n \cdot x + s(t)$. Тогда дифференциальное уравнение (1) с учетом приведенных дополнительных формул принимает вид:

$$m\ddot{x} = if\left(\Delta l < 0,\, 0,\, 2n \cdot c_p\left(\Delta l_0 - 2n \cdot x + s(t)\right)\right) - 2n \cdot F_0 - c_2 \cdot x - b \cdot \dot{x}. \qquad (2)$$

Численное решение данного уравнения позволяет получить функцию, описывающую колебания нижнего узла $x(t)$ и затем рассчитать значения переменного натяжения изделия согласно зависимости:

$$N(t) = if\left(\Delta l < 0,\, 0,\, c_p\left(\Delta l_0 - 2n \cdot x + s(t)\right)\right). \qquad (3)$$

Пусть перемещение правого конца пряди описывается синусоидальной функцией $s = s_a \cdot \sin(pt)$, где s_a, p – амплитуда и частота кинематического возмущения. Дальнейший анализ выполнен при следующих исходных данных:

- перематываемое изделие в виде тонкой стальной проволоки диаметром $d = 0{,}2 \cdot 10^{-3}$ м, $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па;
- размеры устройства (см. рис. 1): $l_1 = l_3 = 0{,}5$ м; $l_2 = 2$ м; $n = 6$;
- радиус роликов $R = 0{,}06$ м; масса нижнего узла $m_p = 2$ кг;
- полная длина проволоки $l = l_1 + l_2 + 2n(l_3 + \pi \cdot R) = 10{,}8$ м;
- жесткость проволоки $c_p = \dfrac{E \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot l} = 584$ Н/м;
- жесткость пружины демпфера $c_2 = 2008$ Н/м;
- статическое натяжение проволоки $F_0 = 10$ Н;
- амплитуда и частота кинематического возмущения: $s_a = 0{,}01$ м, $p = 54$ рад/с.

В ходе численных экспериментов строили два графика изменения натяжения проволоки $N(t)$:

1) согласно формуле (3) при подвижном нижнем узле;
2) по формуле $N_1(t) = if\left(\Delta l < 0,\, 0,\, c_p\left(\Delta l_0 + s(t)\right)\right)$ в случае неподвижного нижнего узла.

Примеры графиков для различных значений коэффициента трения показаны на рис. 2. Из графиков видно, что при рациональном подборе конструктивных параметров рассматриваемое устройство позволяет обеспечить низкий уровень амплитуды колебаний перематываемого изделия на выходе из устройства, независимо от уровня колебаний натяжения на входе.

Вывод. Использование устройств для гашения колебаний, с одной стороны, усложняет конструкцию и расчетную схему намоточного станка. С другой стороны, наличие указанных механизмов позволяет ограничить передачу колебаний натяжения изделия при его движении от питающего устройства к приемному.

Предложенная методика динамического анализа повышает эффективность предпроектных исследований и может использоваться для выбора рациональных характеристик гасителя колебаний (демпфирующего устройства). Это и является предметом дальнейших научно-исследовательских работ в указанном направлении.

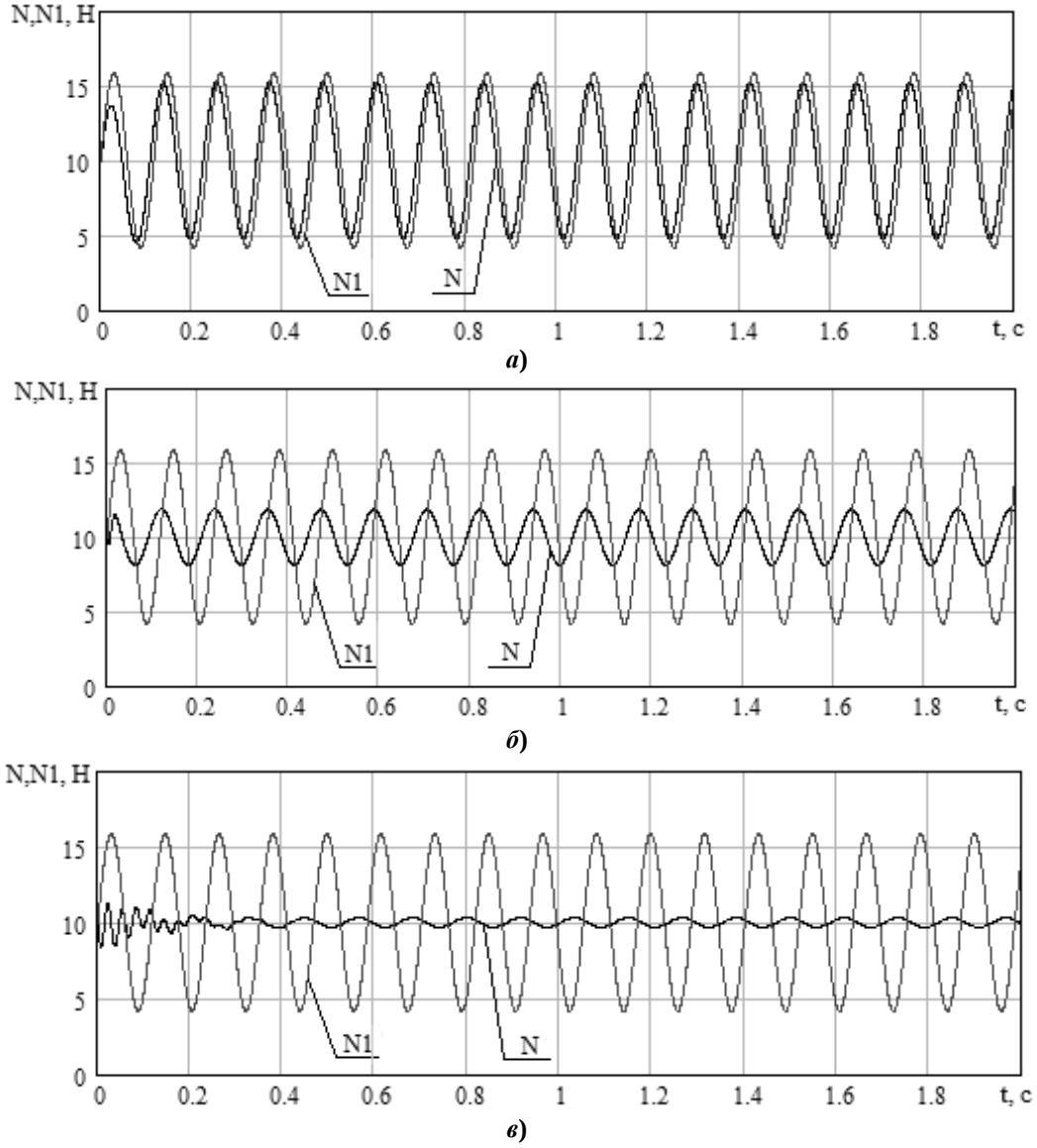


Рис. 2. Графики изменения натяжения проволоки (*N* – натяжение при подвижном нижнем узле; N_1 – натяжение при неподвижном узле): *а*) для *b* = 3000; *б*) для *b* = 500; *в*) для *b* = 40.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжиков В. А. Натяжные устройства канатовьющих машин / В. А. Рыжиков. – Новочеркасск : Новочеркасский государственный технический университет, 1994. – 135 с.
2. Бохонский А. И. Использование динамических гасителей крутильных колебаний в системе перемотки проволоки / А. И. Бохонский, Е. В. Хромов // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2000. – № 1. – С. 136–138.

УДК 621.7

Леонтьев В. В., Хромов В. Г.

ПОВЕДЕНИЕ СМАЗКИ ПРИ ОБЫЧНОМ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ВОЛОЧЕНИИ СТАЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ПРОВОЛОКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В COMSOL MULTIPHYSICS

За допомогою програми COMSOL MULTIPHYSICS методом скінченних елементів досліджується плин змащення в каналі між напірною трубкою, матрицею-волокою та дротом при гідродинамічному режимі волочіння. Визначено тиски змащення на дріт, що дають можливість перейти до дослідження її напружено-деформованого стану при різних швидкостях волочіння.

Ключові слова: *пластичний плин металу, волочіння, плин рідини, напружено-деформований стан, метод скінченних елементів.*

С помощью программы COMSOL MULTIPHYSICS методом конечных элементов исследуется течение смазки в канале между напорной трубкой, матрицей-волокой и проволокой при гидродинамическом режиме волочения. Определены давления смазки на проволоку, которые дают возможность перейти к исследованию ее напряженно-деформированного состояния при различных скоростях волочения.

Ключевые слова: *пластическое течение металла, волочение, течение жидкости, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.*

By means of program COMSOL MULTIPHYSICS the finite element method examines a greasing current in the channel between a pressure head handset, a matrix and a wire at a hydrodynamic condition of drawing. Pressure of greasing upon a wire that gives the chance to pass to research of it is intense-deformed condition at various speeds of drawing are defined.

Key words: *plastic current of metal, drawing, fluid current, intense-deformed condition, finite element method.*

Постановка проблемы. Одним из направлений повышения эффективности производства проволоки является увеличение скорости волочения. Оно может быть достигнуто путем снижения трения между контактирующими поверхностями проволоки и матрицы-волоки. Наиболее эффективно в этом смысле создание гидродинамического режима волочения.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время при производстве проволоки используются два режима волочения – обычное и гидродинамическое [1]. Схема обычного волочения представлена на рис. 1. Этот режим используется, как правило, на первых этапах деформирования.

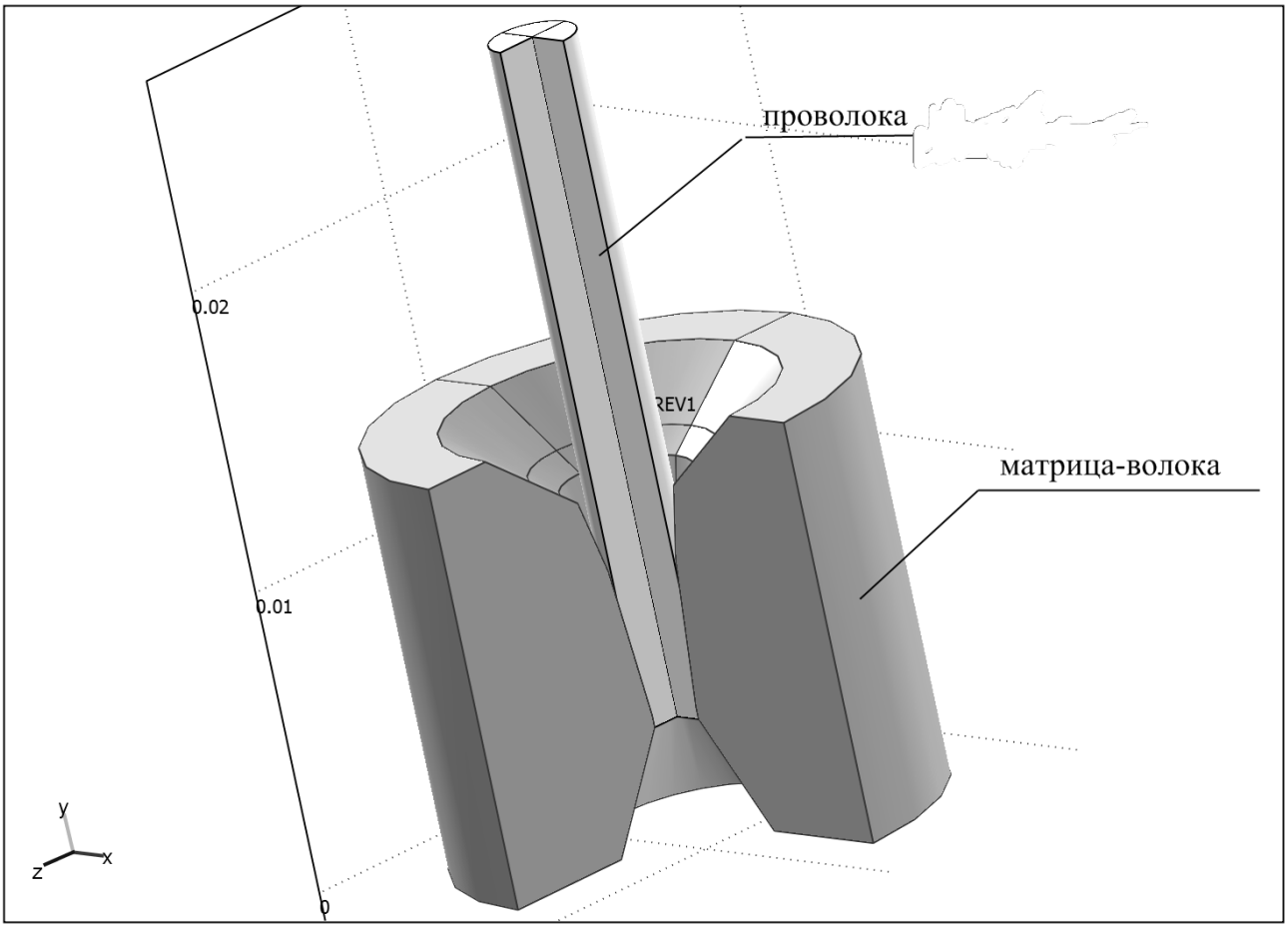


Рис. 1. Схема волочения в обычном режиме.

Здесь деформация осуществляется за счет непосредственного взаимодействия деформирующего конуса волоки с проволокой. При этом режиме между волокой и проволокой образуется тончайший (порядка 10^{-8} м) слой смазки, заполняющий микронеровности контактирующих поверхностей, и возникает граничное трение с коэффициентом 0,005–0,01. Из-за этого невозможно достичь высоких скоростей волочения, поскольку, во-первых, требуется значительное

усилие вытяжки, и, во-вторых, происходит значительный разогрев проволоки и волоки. Оба эти фактора могут привести как к разрушению проволоки, так и выходу из строя инструмента.

Радикальное уменьшение сил трения (в несколько десятков раз) можно получить, применяя качественно иной режим волочения – гидродинамический. В этом режиме обеспечивается существование устойчивого толстого (порядка 10^{-5} м) слоя смазки между проволокой и матрицей. Такой слой надежно экранирует трущиеся поверхности от контакта между собой. Поддержать толстый смазочный слой можно, сообщив смазке такое давление, которое достаточно для разделения трущихся поверхностей и пластической деформации обрабатываемого тела. Для создания этого давления используется напорная трубка-насадка, как показано на рис. 2.

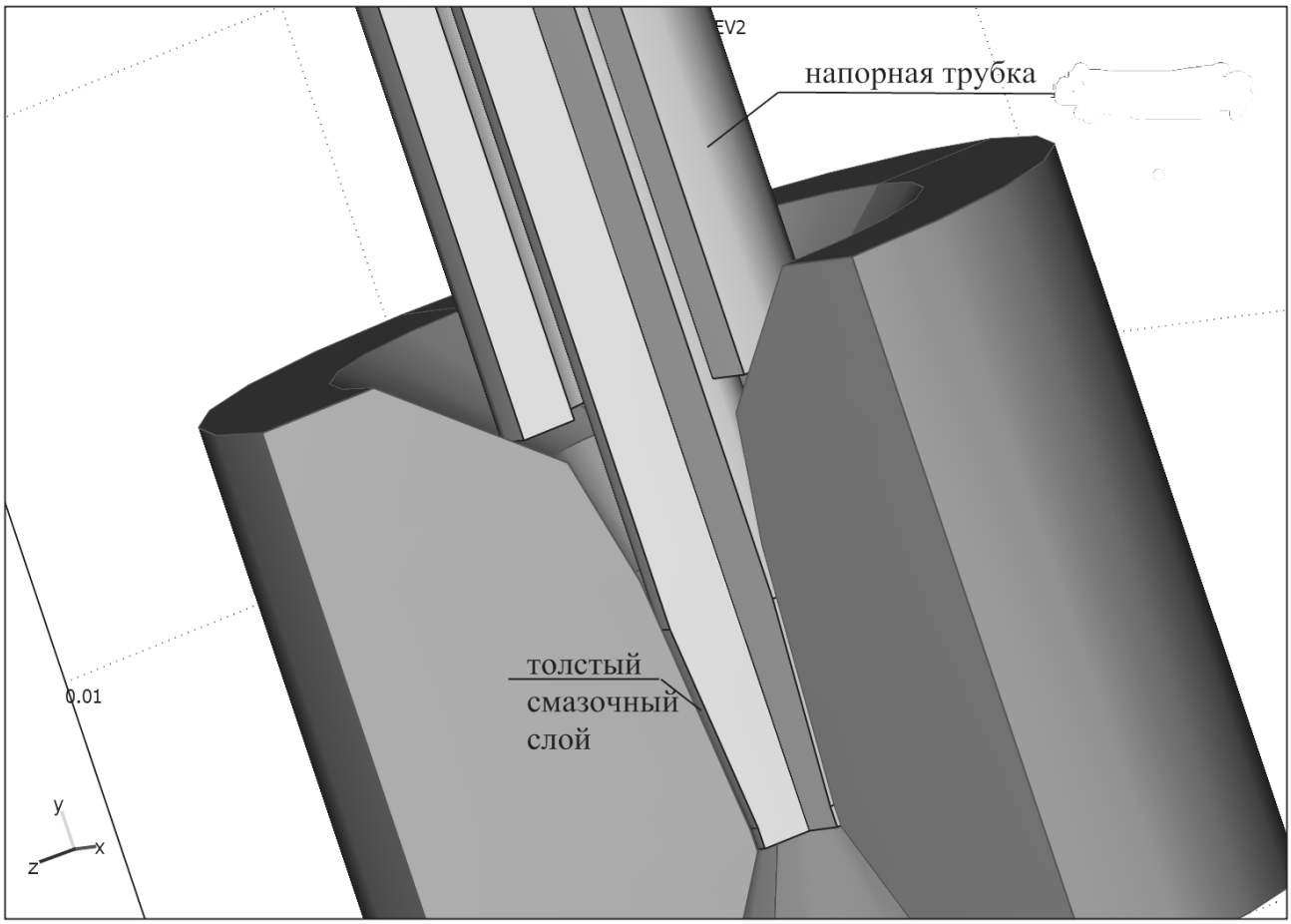


Рис. 2. Схема волочения в гидродинамическом режиме.

При одних и тех же характеристиках смазки (плотность и динамическая вязкость) величина давления зависит от длины трубки и зазора между ее внутренней поверхностью и наружной поверхностью проволоки.

Теоретически показано [1], что при постоянной скорости движения проволоки давление в зоне деформации тем выше, чем длиннее трубка и меньше зазор. С ростом же скорости давление возрастает.

Однако существующие решения не учитывают падения давления при выходе смазки из напорной трубки в связи с резким расширением канала и целого ряда взаимосвязей между давлением смазки, ее температурой и вязкостью.

Точно исследовать происходящие процессы можно с помощью метода конечных элементов.

Целью статьи является изучение поведения смазки при обычном и гидродинамическом волочении проволоки методом конечных элементов.

Изложение основного материала. Прежде всего, требуется определить величину давления смазки, необходимого для разделения проволоки и матрицы. Очевидно, что это давление должно быть не меньше контактного давления между проволокой и матрицей, возникающего в зоне деформации при обычном (не гидродинамическом) волочении. Решение для такого случая было получено с помощью ANSYS с учетом разогрева проволоки [2; 3].

Результаты расчета показаны на рис. 3. Как видно, контактное давление оказывается наибольшим в начале зоны деформирования и достигает 1100 МПа.

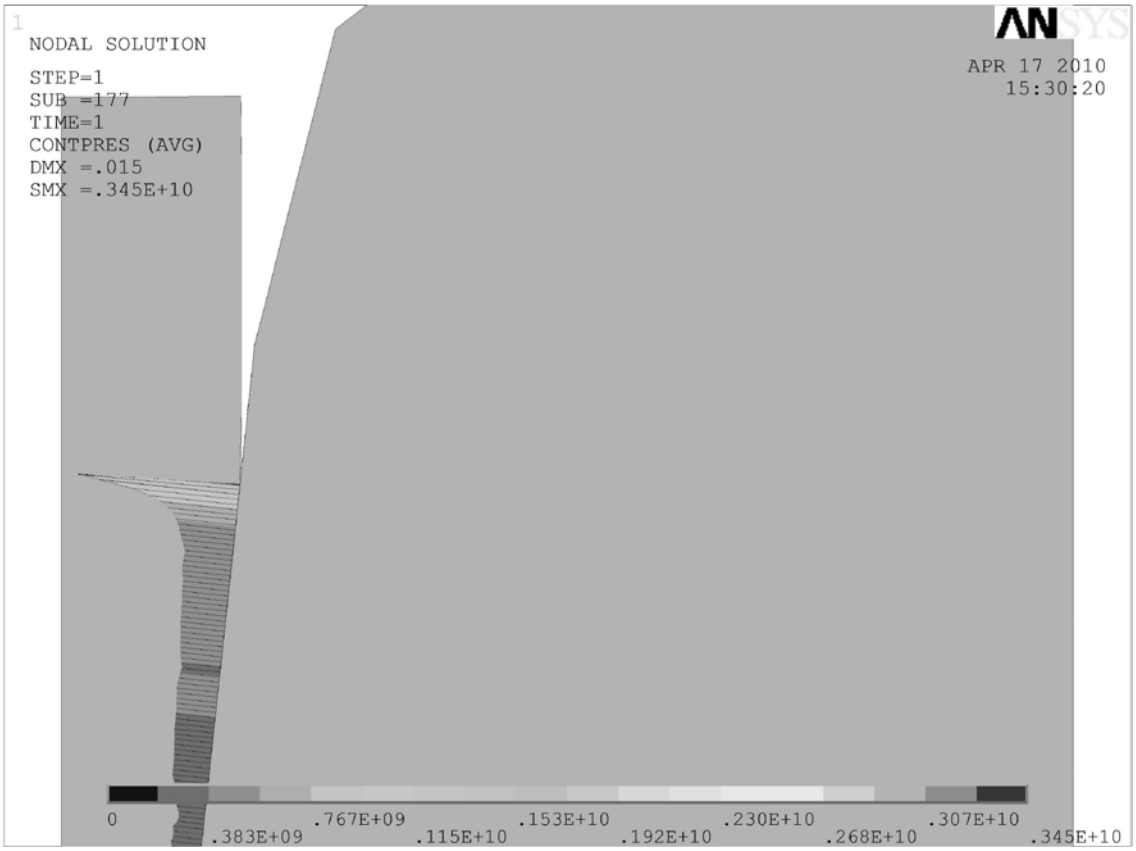


Рис. 3. Распределение контактного давления на проволоку в зоне деформирования.

После этого с помощью программы COMSOL MULTIPHYSICS была решена задача о течении смазки в канале, образованном напорной трубкой, проволокой и матрицей. Поскольку при переходе от обычного волочения к гидродинамическому щель между проволокой и матрицей отсутствует, на первом этапе была использована модель, показанная на рис. 4.

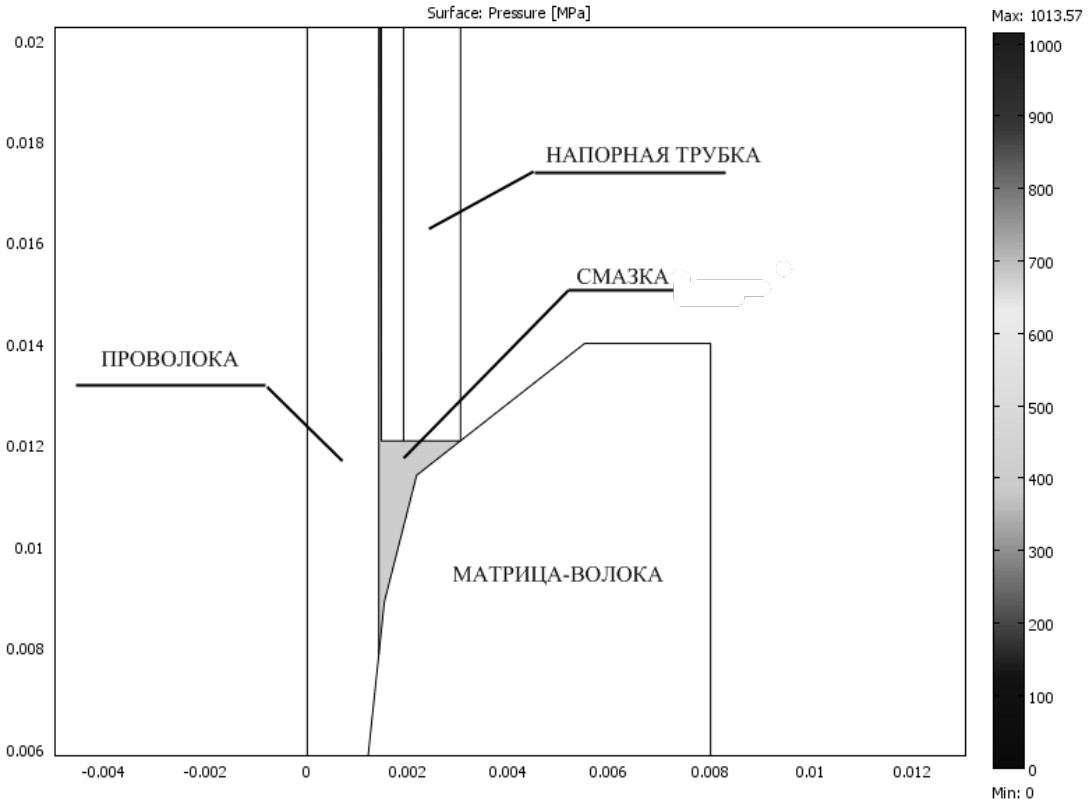


Рис. 4. Распределение давления смазки при переходе от обычного волочения к гидродинамическому – щель между матрицей и проволокой отсутствует.

При расчете принято, что длина напорной трубки составляет 140 мм, зазор между проволокой и трубкой 0,05 мм, плотность смазки 900 кг/см^2, динамическая вязкость смазки 0,02 Па·с, скорость движения проволоки 10 м/с. Как видно на рис. 5, максимальное давление возникает в начале зоны деформации и составляет 1013 МПа, что несколько меньше контактного давления.

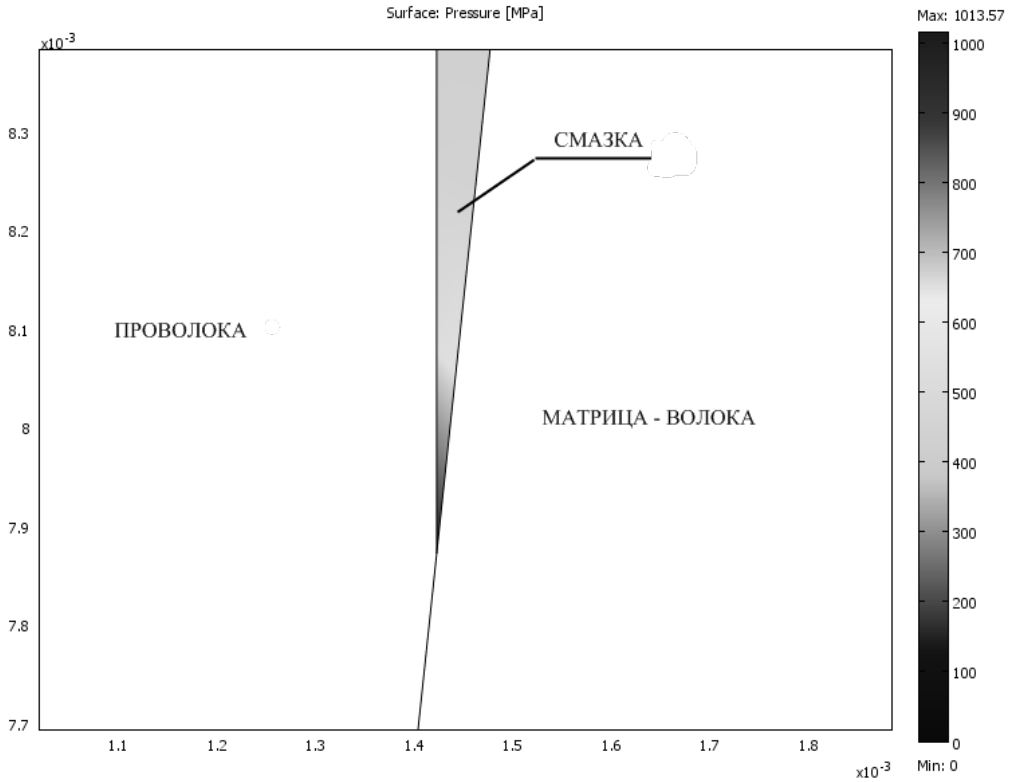


Рис. 5. Распределение давления смазки вблизи зоны деформации проволоки при переходном режиме.

Следует отметить, что указанные размеры напорной трубки были взяты из аналитического решения [1], по которому максимальное давление составляет 1100 МПа. Меньшее значение давления объясняется, по-видимому, тем, что аналитическое решение не учитывает падение давления в зоне расширения канала в месте соединения напорной трубки с волокой.

Поскольку давление оказалось несколько меньше контактного, то для начала гидродинамического режима требуется, очевидно, некоторое незначительное увеличение скорости проволоки.

Предположим теперь, что давление смазки оказалось большим или равным контактному. Это приведет к образованию щели между проволокой и матрицей. Как показывают эксперименты, толщина такой щели достигает $2 \cdot 10^{-5}$ м. Очевидно, что давление смазки уменьшится, как показано на рис. 6, до 785 МПа.

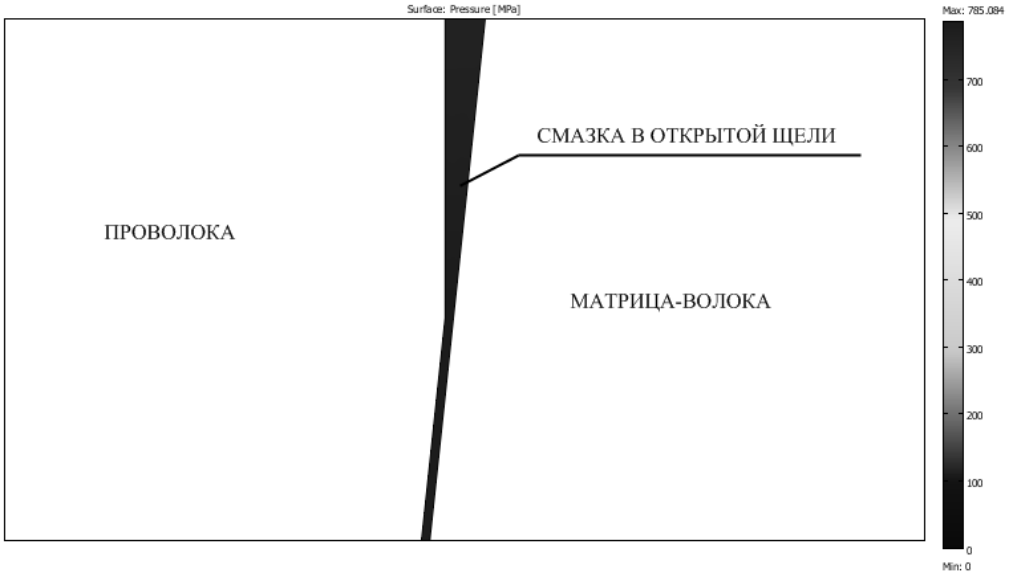


Рис. 6. Распределение давления смазки в деформирующей зоне при гидродинамическом волочении.

При этом давление уменьшается к нижней части щели до нуля на выходе из нее, следовательно, значительно увеличивается скорость смазки, и происходит так называемый ее «выхлоп». Поскольку давление оказывается существенно меньше контактного, то при дальнейшем продвижении проволоки щель вновь закроется, давление возрастет и процесс повторится. Описанный режим не является устойчивым, поскольку сопровождается постоянным открытием-закрытием щели и выхлопами смазки. Это приводит к так называемой «бамбуковой» форме внешней поверхности проволоки, что недопустимо.

Выводы. Для обеспечения устойчивого процесса гидродинамического волочения необходимо подобрать скорость движения проволоки, длину напорной трубки и зазор так, чтобы даже при открытой щели давление превышало контактное. Однако это приведет к значительному давлению до начала гидродинамического режима при закрытой щели. В этом случае сжимающие напряжения в проволоке могут оказаться столь значительными, что вызовут ее разрушение. Этот вопрос нуждается в дополнительном исследовании.

Кроме того, в силу малых размеров щелей при больших скоростях проволоки возможен значительный разогрев смазки. Это, как показывают эксперименты, приводит к уменьшению ее динамической вязкости и, как следствие, к падению давления. Помимо этого, экспериментально установлено, что с ростом давления динамическая вязкость возрастает, а значит, возрастает и давление. Отмеченные взаимосвязи также необходимо учесть при моделировании волочения в гидродинамическом режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров В. Л. Гидродинамическая подача смазки / В. Л. Колмогоров, С. И. Орлов, Г. Л. Колмогоров. – М. : Металлургия, 1975. – 256 с.
2. Леонтьев В. В. Моделирование процесса волочения стальной канатной проволоки методом конечных элементов с помощью ANSYS / В. В. Леонтьев // Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем и элементов их конструкций : материалы междунар. науч.-техн. конф., 8–11 сентября 2009 г. – Севастополь, 2009. – С. 160–163.
3. Леонтьев В. В. Моделирование процесса волочения стальной канатной проволоки с учетом ее нагрева методом конечных элементов в ANSYS / В. В. Леонтьев, В. Г. Хромов // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология : сб. науч. тр. – Севастополь, 2010. – Вып. 106. – С. 26–30.

УДК 621.7:004.4

Абдурайимов Л. Н.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА РАБОЧЕЙ ПЛАТФОРМЕ УСТАНОВКИ ПОСЛОЙНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

Розглянуто підхід до оптимального розміщення виробів машинобудівного призначення на робочій платформі установки пошарового вирощування. Оптимальне просторове розташування виробів на платформі визначається на базі застосування генетичного алгоритму. В якості вихідних даних використані триангуляційні 3D моделі промислових виробів. Приведено приклади застосування пропонованого підходу при побудові виробів технологіями прискореного формоутворення.

Ключові слова: *технологія прискореного формоутворення, пошарова побудова, генетичний алгоритм, задача двовимірної упаковки, триангуляційна 3D модель.*

Рассмотрен подход к оптимальному размещению изделий машиностроительного назначения на рабочей платформе установки послойного выращивания. Оптимальное пространственное расположение изделий на платформе определяется на базе применения генетического алгоритма. В качестве исходных данных использованы триангуляционные 3D модели промышленных изделий. Приведены примеры применения предлагаемого подхода при построении изделий технологиями ускоренного формообразования.

Ключевые слова: *технология ускоренного формообразования, послойное построение, генетический алгоритм, задача двумерной упаковки, триангуляционная 3D модель.*

The approach to optimal placement of industrial products on a working platform of layer-by-layer manufacturing installation is considered in this article. The optimal spatial arrangement of products on a platform is determined on the basis of genetic algorithm. As the initial data are used triangulated 3D models of industrial products. Examples of application of proposed approach are given at products creation by rapid formation technologies.

Key words: *technology of rapid formation, layer-by-layer building, genetic algorithm, the problem of two-dimensional packing, triangulated 3D model.*

Постановка проблемы. Интегрированные технологии послойного выращивания изделий, составляющие важный раздел высоких технологий машиностроения, в последние десятилетия получили мощное развитие и охватили самые наукоемкие отрасли промышленного производства, авиации, автомобилестроения, архитектуры, медицины и т. д., вплоть до археологии.

В настоящее время изготовление машиностроительных изделий по традиционным технологиям не в состоянии своевременно реагировать на быстрые изменения требований рынка в части освоения выпуска нового продукта. Анализ производственного цикла создания нового изделия свидетельствует о необходимости использования прототипа или модели. На их проектирование и изготовление уходит в среднем до 25% общего времени; до 60% прототипов требуют длительного времени изготовления – до нескольких месяцев. Таким образом, в системе подготовки производства прототипирование и создание моделей требуют весьма ощутимой доли затрат ресурсов и, главное, времени [2; 5; 14; 15].

Интегрированные технологии послойного выращивания изделий также называют интегрированными генеративными технологиями. Понятие «генеративные технологии» происходит от латинского «generari», что означает «вырастать», и отражает принципиальное отличие от традиционных технологий, характеризующихся изначально низким коэффициентом использования материала.

Генеративные технологии, в частности ускоренное формообразование и прототипирование по идеологии Rapid Prototyping (RP), обеспечивают прямой переход от виртуального пространства и виртуальных моделей (электронных эталонов изделий) к реальным твердотельным трехмерным объектам без ограничений по сложности формы, не прибегая к использованию технологической оснастки, специального инструмента, металлорежущих станков.

Анализ литературы. Анализ степени влияния технологических параметров на время изготовления изделия в работах [2; 5; 6] показал, что наиболее значимыми из них являются исходная высота изделия, площадь рабочей области, занимаемой деталями, и толщина материализуемого слоя, т. е. технологическое время изготовления зависит существенным образом от количества слоев построения. Поэтому для одновременного изготовления нескольких изделий возникает задача их оптимального (наиболее плотного) размещения на рабочей платформе с целью уменьшения площади занимаемой рабочей области. В настоящее время задачей оптимального размещения изделий на платформе занимается оператор установки послойного выращивания, после чего запускает процесс изготовления [9].

В настоящее время известно достаточное количество методов послойного построения изделий на установках ускоренного формообразования, при которых изготовление ведется путем последовательного неразъемного соединения элементарных слоев объема материала. В качестве такого материала могут выступать полимер, керамика, бумага, металл и др. [18–27]. Задача оптимального размещения изделий на рабочей платформе может быть сведена к задачам оптимального раскроя материалов [1; 7] или двумерной упаковке [8; 10; 13]. В качестве различных критериев оптимизации выступают минимизация потерь и отходов, снижение норм расхода материалов за минимальное время.

Фундаментальные научные разработки в области решения задач раскроя-упаковки принадлежат Л. В. Канторовичу и В. А. Залгаллеру [7]. В работе рассмотрены способы решения такого рода задач с точки зрения применения аппарата линейного программирования. Аналогичные методы получили развитие в 60-е гг. за рубежом в работах P. Gilmore, R. Gomory [16], а позднее G. Scheithauer, J. Terno [17].

Результаты дальнейших исследований в этой области отражены в работах Э. А. Мухачевой, А. Ф. Валеевой, И. П. Норенкова, Ю. А. Кочетова, В. М. Картак, А. С. Филипповой, А. В. Чиглинцева, И. В. Романовского, В. А. Кузнецовой и др.

Применительно к интегрированным генеративным технологиям задача автоматизированного размещения промышленных изделий на рабочей платформе установки послойного выращивания представляет особый практический и научный интерес.

Цель данной **статьи** – расширение возможностей использования предварительного размещения изделий при их послойном изготовлении с целью повышения производительности процесса формообразования.

Изложение основного материала. Задача сводится к отысканию для каждого размещаемого изделия таких позиций на рабочей платформе, при которых оптимизируется выбранный показатель качества и обеспечивается наиболее благоприятные условия для последующего изготовления. При этом оптимальное решение может быть найдено только полным перебором всех вариантов размещения.

Размещение изделий на рабочей платформе является задачей двухмерной упаковки. Данная задача комбинаторной оптимизации относится к

классу NP-полных, поэтому для ее решения в силу больших затрат машинного времени на практике переборные алгоритмы применять нецелесообразно [4]. Решают такую задачу различными аппроксимационными, эвристическими, эволюционными или стохастическими методами, позволяющими получать достаточно качественные результаты за меньшее вычислительное время. Перспективными в этом смысле являются алгоритмы, основанные на методе отжига и генетические алгоритмы [9; 11].

Генетические методы и алгоритмы являются частным случаем эволюционных методов. Они позволяют получать решения, близкие к оптимальному, значительно быстрее, чем метод отжига [3; 11]. Это происходит за счет сочетания в них элементов случайного и направленного поиска. Генетические алгоритмы работают одновременно с несколькими решениями и синтезируют новые на основе свойств достигнутых. В отличие от других методов оптимизации эти алгоритмы, как правило, анализируют различные области пространства решений одновременно и поэтому они более приспособлены к нахождению новых решений с лучшими значениями целевой функции.

Применительно к интегрированным генеративным технологиям при размещении изделий на рабочей платформе установки возможны следующие варианты постановки задачи размещения:

- вар. 1 – без учета приоритетности изготовления изделий;
- вар. 2 – с учетом приоритетности изготовления изделий;
- вар. 3 – требование минимизации количества загрузок изделий при послойном изготовлении – достигается за счет оптимального размещения (плотной упаковки) изделий на платформе;
- вар. 4 – требование минимизации средней высоты изделий с целью снижения времени изготовления – достигается путем рациональной ориентации изделий в пространстве и размещении их на платформе;
- вар. 5 – сочетания 1-го с 3 или 4 вариантами;
- вар. 6 – сочетания 2-го с 3 или 4 вариантами.

При первом варианте имеется множество изделий, для которых требуется найти оптимальные позиции для размещения на платформе.

Второй вариант предполагает определенное ранжирование изделий по приоритетности их изготовления. Задача состоит в том, чтобы в первую очередь разместить и изготовить наиболее приоритетные изделия, а затем остальные.

При третьем варианте требуется по возможности изготовить максимальное количество изделий при одновременной загрузке их на платформе. Это обеспечивается оптимальным размещением изделий на платформе. Выбор последовательности размещения изделий с учетом всех возможных вариантов их расположения на платформе при их послойном изготовлении является основной процедурой двухмерной плотной упаковки на базе генетического алгоритма [10].

Четвертый вариант предполагает минимизацию средней высоты изделий для снижения технологического времени материализации. В данном случае предлагается следующий эвристический подход [13]: на каждом шаге для размещения выбирается самое большое и негабаритное изделие из числа неразмещенных, поскольку поместить его на имеющейся платформе с каждым следующим шагом будет все сложнее. Для каждого изделия подсчитывается число возможных вариантов его размещения и выбирается такое изделие, для которого это число минимально. Для каждого изделия определяются все возможные его положения в пространстве. Место размещения выбранного изделия и его ориентация в пространстве определяются так, чтобы суммарное число возможных вариантов размещения оставшихся изделий было максимальным. Необходимо выбрать такое положение изделия, при котором заданная целевая функция в данном случае принимает наименьшее значение. После размещения выполняется обычная компоновка по координатным осям.

Остальные варианты постановки задачи являются различными сочетаниями рассмотренных.

Рассмотрим третий вариант постановки задачи размещения, при котором требуется оптимальным образом разметить изделия на платформе для минимизации количества загрузок. Решение данной задачи будем находить с использованием генетического алгоритма.

Исходными данными при автоматизации решения задачи размещения изделий на рабочей платформе являются следующие.

• Размеры рабочей области платформы по координатным осям: X_A, Y_A, где OX, OY – соответственно, координатные оси по длине и ширине, мм. Размер платформы Z_A по третьей координатной оси OZ не рассматривается в силу решения задачи на плоскости.

• Множество изделий, подлежащих размещению $\{(x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n)\}$, характеризующиеся своими габаритными размерами, мм. Проекции размещаемых изделий на плоскость рабочей платформы установки для упрощения вычислительных процедур аппроксимируются прямоугольниками. В данном случае x_i и y_i – габаритные ширина и длина i-го размещаемого изделия.

Требуется найти такие варианты размещения изделий на платформе $Z = \{(a_1, b_1), \ldots, (a_n, b_n)\}$, где (a_i, b_i) – координаты центра тяжести i-го размещаемого изделия, чтобы площадь перекрытия площадей была равна нулю, а их количество было максимальным.

Задача размещения решается оптимизацией целевой функции, выражающей нормированную оценку штрафов за перекрытие площадей размещаемых изделий:

$$F = \min P\left(S_\Sigma\left(z_j\right)\right), \qquad (1)$$

где z_j – вариант размещения;

$S_\Sigma(z_j)$ – общая площадь перекрытия размещаемых изделий;

$P(S_\Sigma(z_j))$ – функция штрафа за перекрытие площадей, принимающая значения из интервала $[0, 1]$.

Общая площадь перекрытия вычисляется следующим образом:

$$S_\Sigma\left(z_j\right) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=i}^{n} S_{ik}, \qquad (2)$$

где n – количество размещаемых изделий;

S_{ik} – площадь перекрытия i-го и k-го размещаемого изделия, определяемая по следующей зависимости:

$$S_{ik} = \left(\frac{x_i + x_k}{2} - \left|a_i - a_k\right|\right)\left(\frac{y_i + y_k}{2} - \left|b_i - b_k\right|\right). \qquad (3)$$

Функция штрафа за перекрытие площадей определяется как:

$$P\left(S_\Sigma\left(z_j\right)\right) = \frac{S_\Sigma\left(z_j\right)}{\left(n-1\right)\cdot X_A \cdot Y_A}. \qquad (4)$$

Имеют место следующие ограничения-неравенства, которые сокращают размерность пространства решений:

- габаритные размеры изделий не должны превышать размеров рабочей области платформы:

$$0 < x_i < X_A;\ 0 < y_i < Y_A; \qquad (5)$$

- сумма площадей проекций размещаемых изделий на плоскость рабочей платформы не должна превышать общей площади области размещения:

$$\sum_{i=1}^{n} S_i < X_A \cdot Y_A, \qquad (6)$$

где S_i – площадь проекции i-го изделия на плоскость рабочей платформы;

- отсутствие перекрытий площадей размещаемых изделий.

В приведенных ограничениях-неравенствах знак «<» принят по причине того, что на практике изделия, подлежащие материализации, должны размещаться с определенным зазором. К тому же, изделия должны располагаться с некоторым отступом от краев рабочей платформы установки. Поэтому равенства в ограничениях в принципе достичь невозможно в силу принятых допущений.

При описании решения задачи размещения целесообразно использовать терминологию генетических алгоритмов. Для применения операторов генетического алгоритма значения координат центров тяжести размещаемых изделий кодировались в двоичное представление. Структура хромосомы имеет вид, представленный на рис. 1.

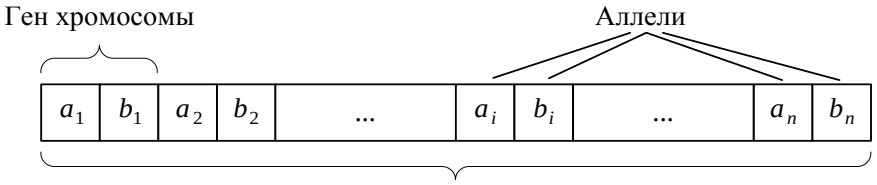


Рис. 1. Структура хромосомы при решении задачи размещения промышленных изделий на рабочей платформе установки послойного выращивания.

Хромосома имеет вид списка, состоящего из пар координат центров тяжести размещаемых изделий (a_i, b_i). Длина всех хромосом является одинаковой и зависит от количества размещаемых изделий n. Номер пары в составе списка характеризует номер размещаемого изделия. Однако для такого представления хромосомы необходимым условием будет использование таких операторов рекомбинации, которые не меняют порядковые номера пар (a_i, b_i).

Каждая хромосома состоит из генов, которые содержат информацию об отдельном размещаемом изделии. Изменяющиеся позиции генов называются аллелями [12].

В состав операторов рекомбинации входят оператор мутации и оператор скрещивания.

В качестве оператора мутации применяется случайное изменение значения произвольной аллели хромосомы, что соответствует переносу элемента в произвольную позицию. Мутация считается удачной, если изделие с новыми координатами центра тяжести не вышло за пределы рабочей области платформы, т. е. для координат должны выполняться следующие условия:

$$x_i / 2 \le a_i \le X_A - x_i / 2,\ y_i / 2 \le b_i \le Y_A - y_i / 2 \qquad (7)$$

Если размещаемое изделие выходит за пределы рабочей области платформы (условие (7)

не выполняется), то происходит повторное выполнение оператора мутации для того же изделия.

Суть оператора скрещивания для генетического алгоритма состоит в случайном выборе двух хромосом из множества родительских для скрещивания, случайном выборе точке скрещивания, которая разделяет обе хромосомы на две части, с последующим обменом частями строк, как представлено на рис. 2.

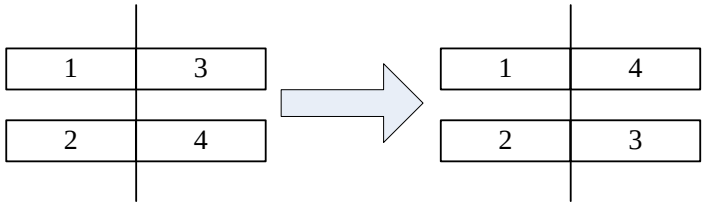


Рис. 2. Схема скрещивания хромосом в генетическом алгоритме.

Точка скрещивания выбирается таким образом, чтобы не происходило разрушения гена хромосомы. Таким образом, оператор скрещивания выполняет обмен подобластями с размещенными изделиями между двумя вариантами размещения. Полученные две хромосомы называются потомками и одна из них, выбираемая случайным образом, переходит в следующее поколение набора хромосом (популяцию).

Оператор селекции для генетического алгоритма определяется на основе пропорционального отбора, который производится на основе вероятности отбора, вычисленной для каждой хромосомы текущей популяции.

На этапе инициализации случайным образом генерируются N_{chr} потенциальных решений (вариантов размещений), где N_{chr} – количество хромосом в популяции. При этом для координат размещаемых изделий должны выполняться условия (7).

Окончание поиска оптимального решения производится на базе двух вариантов условий: 1) процесс останавливается по истечению времени эволюции, которое задается пользователем заранее; 2) эволюция прекращается при нахождении первого варианта размещения, у которого суммарная площадь пересечений равна нулю.

Предлагаемый подход к размещению изделий на рабочей платформе установки послойного выращивания был реализован в объектно-ориентированной среде программирования в качестве модуля системы морфологического анализа 3D образов изделий, разрабатываемой на кафедре интегрированных технологий машиностроения им. М. Ф. Семко НТУ «Харьковский политехнический институт».

Модуль позволяет находить оптимальные решения за достаточно короткое время для нескольких групп триангуляционных моделей изделий. Для определения координат центров тяжести размещаемых изделий найденные оптимальные решения в виде двоичных хромосом декодировались обратно в целочисленные значения. Основные результаты предложенного подхода приведены на рис. 3. Триангуляционные модели изделий представлены различными своими габаритными размерами и геометрическими формами.

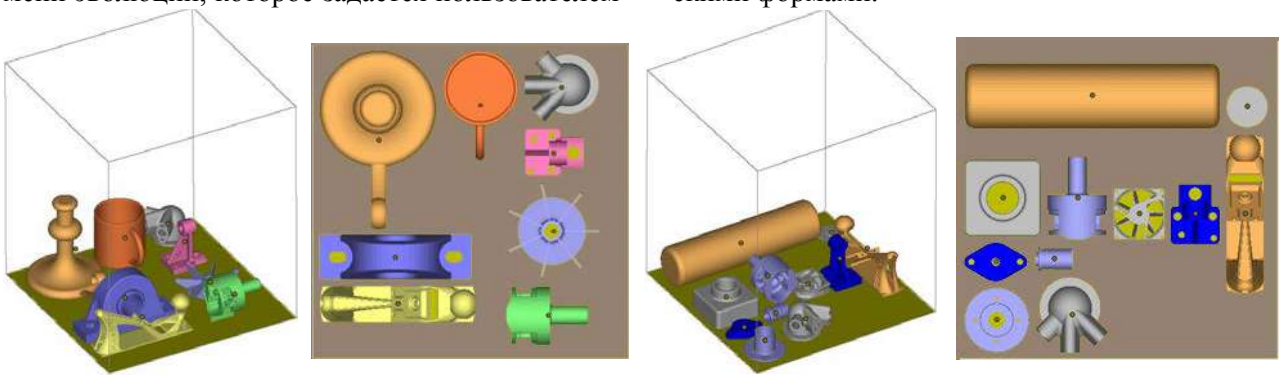


Рис. 3. Примеры оптимального размещения различных групп промышленных изделий на рабочей платформе установки послойного выращивания по критерию минимизации площадей перекрытия проекций размещаемых изделий.

Выводы. Выполненные исследования позволили выявить особенности задачи оптимального размещения промышленных изделий на рабочей платформе при их послойном изготовлении. Практической ценностью является сокращение трудовых и временных затрат при подготовке изделий к послойной материализации.

Выявлено, что применение генетического алгоритма при решении задачи оптимального размещения промышленных изделий на рабочей платформе установки послойного выращивания позволяет получать достаточно качественные результаты за меньшее вычислительное время, по сравнению с переборными алгоритмами.

На базе модельных экспериментов подтверждена необходимость предварительного оптимального размещения изделий на рабочей платформе. Выбор должен производиться на этапе, предшествующем материализации изделий.

Возможность оптимального размещения изделий на рабочей платформе реализована в специальном программном обеспечении. С его помощью можно получить оптимальные пространственные расположения изделий на базе их триангуляционных 3D-моделей.

Предложенный подход является одним из возможных вариантов по выбору оптимального размещения изделий при их послойном изготовлении. Поэтому в качестве перспективных исследований целесообразно рассмотреть возможность расширения области применения генетических алгоритмов при решении задачи оптимального размещения изделий в объеме рабочей камеры (задача трехмерной упаковки) установки послойного формообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаев Ф. В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ / Ф. В. Бабаев. – М. : Машиностроение, 1982. – 168 с.
2. Вітязєв Ю. Б. Розширення технологічних можливостей прискореного формоутворення способом стереолітографії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / Ю. Б. Вітязєв. – Харків, 2004. – 20 с.
3. Гладков Л. А. Генетические алгоритмы / [Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик] ; под ред. В. М. Курейчика. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.
4. Гэри М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи / М. Гэри, Д. Джонсон ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1982. – 416 с.
5. Интегрированные генеративные технологии : учеб. пособие [для студ. высш. учеб. заведений] / [А. И. Грабченко, Ю. Н. Внуков, В. Л. Доброскок и др.] ; под ред. А. И. Грабченко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. – 416 с.
6. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления : монография / [Л. Л. Товажнянский, А. И. Грабченко, С. И. Чернышов и др.] ; под. ред. Л. Л. Товажнянского, А. И. Грабченко. – [2-е изд.]. – Харьков : ОАО «Модель Вселенной», 2005. – 224 с.
7. Канторович Л. В. Рациональный раскрой промышленных материалов / Л. В. Канторович, В. А. Залгаллер. – Новосибирск : Наука, 1971. – 300 с.
8. Корчевская О. В. Получение нижних границ для задач двух и трехмерной ортогональной упаковки с помощью нейронных сетей, используя алгоритм безотходной упаковки [Электронный ресурс] / О. В. Корчевская, Л. А. Жуков // Электронный научный журнал «Исследовано в России». – 2008. – Т. 1. – С. 685–694. – Режим доступа : http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/062.pdf.
9. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб. : Изд. дом «ПИТЕР», 2004. – 560 с.
10. Мухлаева И. В. Кроссинговер для решения задачи двумерной упаковки и размещения прямоугольных элементов на плоскости / И. В. Мухлаева // Известия Южного Федерального университета. Технические науки. – 1999. – Т. 13, № 2. – С. 158–160.
11. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг ; [пер. с англ.]. – [2-е изд.]. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.
12. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; [пер. с польск.] – М. : Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
13. Фионова Л. Р. Последовательный алгоритм плотной упаковки элементов / Л. Р. Фионова // Тезисы докл. Респ. науч.-техн. конф. «Автоматизация технического проектирования цифровой аппаратуры». – Каунас : КПИ, 1981.
14. Banerjee P. S. A study on effect of variation of SLA process parameters over strength of built model / P. S. Banerjee, A. Sinha, K. P. R. Sarkar, M. K. Banerjee // Rapid Prototyping and Rapid Tooling Technologies. – India : RPSI. – 2002. – P. 79–84.
15. Gebhardt A. Rapid Prototyping: Werkzeuge fur die schnelle Productentwic klung. – Munchen, Wien ; Hanser, 1996. – 407 S.
16. Gilmore P. Multistage cutting stock problem of two and more dimensions / P. Gilmore, R. Gomory // Operations Research Proceedings. – 1965. – Vol. 13, № 1. – P. 94–120.
17. Scheithauer G. About the gap between the optimal values of the integer and continuous relaxation one-dimensional cutting stock problem / G. Scheithauer, J. Terno // Operations Research Proceedings. – Berlin : Springer-Verlag, 1991. – P. 439–444.
18. Пат. 4863538 США, МПК B 27 N 3/00, B 32 B 31/00, B 23 K 9/00, B 29 C 67/00. Method and apparatus for producing parts by selective sintering / Carl R. Deckard ; Board of Regents, The University of Texas System. – № 920580 ; filed 17.10.1986 ; date of print 05.09.1989.
19. Пат. 5015424 США, МПК B 29 C 35/08. Methods and apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography / Dennis R. Smalley ; 3D Systems Inc. – № 183015 ; filed 18.04.1988 ; date of print 14.05.1991.
20. Пат. 5130064 США, МПК B 29 C 35/08, B 29 C 41/02, B 29 C 41/52. Method of making a three dimensional object by stereolithography / Dennis R. Smalley, Charles W. Hull ; 3D Systems Inc. – № 429435 ; filed 30.10.1989 ; date of print 14.07.1992.

21. Пат. 5141680 США, МПК B 29 C 35/08, B 29 C 41/02, B 29 C 41/36. Thermal stereolithography / Thomas A. Almquist, Dennis R. Smalley ; 3D Systems Inc. – № 592559 ; filed 04.10.1990 ; date of print 25.08.1992.
22. Пат. 5184307 США, МПК G 06 F 15/46, B 29 C 35/08, B 29 C 67/00. Method and apparatus for production of high resolution three-dimensional objects by stereolithography / Charles W. Hul, Stuart T. Spense, David J. Albert and other ; 3D Systems, Inc. – № 331644 ; filed 31.03.1989 ; date of print 02.02.1993.
23. Пат. 5247180 США, МПК B 29 C 35/08. Stereolithographic apparatus and method of use / Larry D. Mitcham, William E. Nelson ; Texas Instruments Incorporated. – № 814859 ; filed 30.12.1991 ; date of print 21.09.1993.
24. Пат. 5437964 США, МПК G 03 C 5/00, G 03 C 1/725, G 08 F 2/46. Stereolithography using vinyl ether-epoxide polymers / Stephen C. Lapin, James R. Snyder, Eugene V. Sitzmann and other ; Allied-Signal Inc. – № 201146 ; filed 24.02.1994 ; date of print 01.08.1995.
25. Пат. 5663883 США, МПК G 06 F 19/00. Rapid prototyping method / Charles L. Thomas, Zetain Wang ; University of Utah Research Foundation. – № 517092 ; filed 21.08.1995 ; date of print 02.09.1997.
26. Пат. 5902538 США, МПК B 29 C 35/08, B 29 C 41/02. Simplified stereolithographic object formation methods of overcoming minimum recoating depth limitations / Theodor R. Kruges, Chris R. Manners, Hop D. Hguyen ; 3D Systems, Inc. – № 08/920428 ; filed 29.08.1997 ; date of print 11.05.1999.
27. Пат. 6600965 B1 США, МПК G 06 F 19/00. Method and apparatus for production of high resolution three-dimensional objects by stereolithography / Charles W. Hull, Stuart T. Spence, David J. Albert and other ; 3D Systems Inc. – № 09/236259 ; filed 26.01.1999 ; date of print 29.07.2003.

РАЗДЕЛ 3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

УДК 629.113.004

Бабицкий Л. Ф. Соболевский И. В.

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Стаття розкриває розробку нової математичної моделі взаємозв'язку основних складових частин МТА в процесі його експлуатації. У статті представлені аналітичні залежності, що дозволяють визначати і прогнозувати показники гамма-процентного ресурсу при розробці нормативно-технологічної документації на ТО і ПР.

Ключові слова: *машинно-тракторний агрегат, трудомісткість, гамма-процентний ресурс, модель, працездатність.*

Статья раскрывает разработку новой математической модели взаимосвязи основных составных частей МТА в процессе его эксплуатации. В статье представлены аналитические зависимости, позволяющие определять и прогнозировать показатели гамма-процентного ресурса при разработке нормативно-технологической документации на ТО и ТР.

Ключевые слова: *машинно-тракторный агрегат, трудоёмкость, гамма-процентный ресурс, модель, работоспособность.*

The article exposes development of new mathematical model of intercommunication of basic component parts of MTA in the process of his exploitation. In the article analytical dependences are also presented allowing to determine and forecast the indexes of gamma-percent resource at development of normative-technological document on technical service and permanent repair.

Key words: *machine tractor aggregate, labor intensiveness, gamma-percent resource, model, capacity.*

Постановка проблемы. Важным элементом предупреждения неисправностей машинно-тракторного агрегата (МТА) является применение различных методов контроля и оценки технического состояния составных частей трактора и машинного агрегата. Это, в свою очередь, предусматривает необходимость применения в условиях эксплуатации косвенной оценки технического состояния по различным внешним признакам, выявленным при работе МТА, а также контроля с применением диагностических средств. Техническое состояние МТА в значительной степени определяет возможность поддержания тяговых характеристик трактора, а также обеспечения качества выполнения технологического процесса машинного агрегата [1].

На современном этапе функционирования агропромышленного комплекса Украины происходит уменьшение количественного состава машинно-тракторного парка (МТП) и снижение уровня его технической готовности, что приводит к увеличению в 1,5–2,5 раза нагрузки на работающие МТА. Количество МТА, выводимых из эксплуатации, превышает количество закупаемой техники. В свою очередь, увеличение нагрузки на эксплуатируемую технику приводит к увеличению сроков выполнения полевых работ и потере урожая [2].

Обеспечить стабилизацию количественного состава МТА на ближайшее время возможно лишь при поддержке высокого уровня технической готовности машин в условиях рядовой эксплуатации за счёт соответствующей диагностики и оперативного технического обслуживания, что повысит надёжность техники.

Анализ литературы. Изучению основ повышения надёжности сельскохозяйственной техники при техническом обслуживании посвящены работы таких учёных, как В. М. Забродский, Г. Е. Топилин, С. Г. Стопалов, Е. Г. Тома [1], Н. В. Молодык [2], У. А. Абдулгазис [3], И. М. Бендера, С. М. Грушецкий, П. И. Роздорожнюк, Я. М. Михайлович [4] и др.

Как показывает анализ литературных источников [1; 2], за последние годы промышленность Украины освоила и предложила сельскохозяйственным товаропроизводителям свыше 500 наименований новых машин. Однако как новая, так и старая техника имеет низкую надёжность. При этом наработка на отказ отечественных тракторов составляет всего лишь 16–25 моточасов. Поэтому возрастает роль научного обеспечения в повышении надёжности как комплексного показателя, который лежит в обосновании закономерностей потери работоспособности и прогнозировании уровня безотказности, с целью разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий технического сервиса МТА.

Целью статьи является разработка математической модели взаимосвязи основных состав-

ных частей МТА в процессе его технического сервиса, а также аналитических зависимостей, позволяющих определять и прогнозировать показатели гамма-процентного ресурса при разработке нормативно-технологической документации на ТО и ТР.

Изложение основного материала. Изменение исходных характеристик безотказной работы (БР) МТА в условиях эксплуатации зависит от многих факторов, действующих не изолированно, а комплексно, при этом находясь в сложной зависимости друг от друга. К ним можно отнести три основные группы: конструктивные (К) (Z_1 – нагрузки, превышающие расчётные; Z_2 – неправильно выбранный материал детали; Z_3 – несоответствие посадки выбранному режиму работы и т. д.), технологические (Т) (нарушение технологической последовательности: W_1 – изготовления детали; W_2 – сборки; W_3 – приработки и испытания как составных частей, так и сельскохозяйственной машины в целом) и эксплуатационные (Э). Схематически они рассматриваются как совокупность сложных векторных пространств, где векторами являются сами факторы (рис. 1).

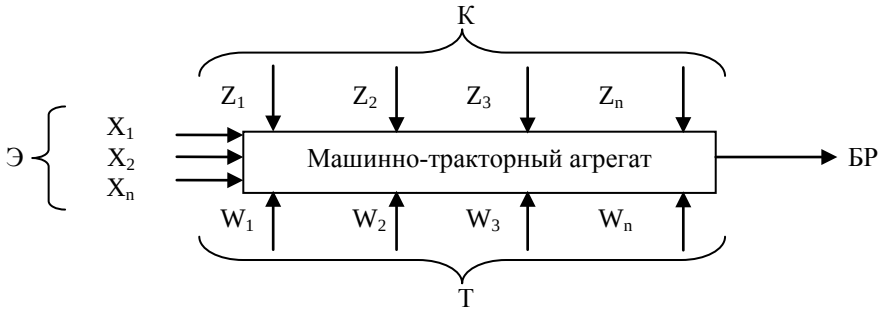


Рис. 1. Блок-схема факторов, влияющих на безотказную работу МТА.

С точки зрения технического сервиса доминирующим фактором блок-схемы является эксплуатационный, который включает в себя X_1 – качество проведения технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР) МТА, X_2 – квалификацию тракториста, X_3 – качество очистки топлива и масел, X_4 – почвенно-климатические условия и X_5 – хранение тракторов.

В условиях рядовой эксплуатации МТА его надёжность зависит от поддерживания режимов технической эксплуатации, своевременного и качественного технического диагностирования и ТО.

При проведении своевременного ТО у МТА также формируются показатели надёжности. Надёжность МТА зависит от надёжности его агрегатов узлов и деталей.

Так как трактора выполняют функцию тяговых или тягово-приводных энергетических средств, а непосредственно технологические операции выполняются рабочими машинами (сеялками, культиваторами и др.), то качество полевых операций определяется в основном уровнем технологической работоспособности машин и агрегатов в целом.

Технологическая работоспособность машин – это их свойство сохранять в заданных пределах и во времени значения показателей, определяющих качество осуществления технологического процесса, прежде всего это полнота и точность выполнения агротехнологических требований (глубина обработки, посева, норма высева и распределение семян в почве, высота среза растений и др.) [5].

Исходя из изложенного, целесообразно подразделить операции технического сервиса, направленные на восстановление параметров технического состояния до нормативной величины, на операции обслуживания и ремонта, а процесс обеспечения нормативной величины параметров технологического состояния машин и агрегатов считать технологическим обслуживанием. Этот процесс должен включать контроль технологического состояния машин, их технологическую настройку, регулировки при подготовке к использованию, дополнительные регулировочные операции при изменении условий эксплуатации [5].

Особо актуален вопрос обеспечения технологической работоспособности при использовании комбинированных агрегатов, выполняющих одновременно несколько технологических операций за один проход. В этом случае несоответствие агротребованиям регулировок у сельскохозяйственных машин приводит к снижению качественных показателей их рабочих органов. Например, у комбинированного посевного комплекса при прямом высеве не отрегулированные по глубине хода культиваторные лапы приводят к неравномерности заделки семян. Очевидно, что для таких сложных агрегатов технологическое обслуживание перед работой должно осуществляться на специальных пунктах, оборудованных устройствами и инструментом для настройки машин.

Так, во время пахоты, в связи с тяжёлыми условиями работы трактора, возникают отказы у двигателя, гидронавесной системы, коробки перемены передач. На транспортных работах отказы возникают у рулевого управления, тормозов, электрооборудования и ходовой системы. У сельскохозяйственных машин (плуги, культиваторы, сеялки, опрыскиватели) в основном отказы возникают в активных рабочих органах и приводах к ним. Например, у машины для выкопки саженцев винограда наименее надёжным элементом является гидродвигатель с механизмом привода, который создаёт колебательное движение рыхлителей.

Своевременное отслеживание и устранение отказов наименее надёжных элементов МТА при ТО формирует основные показатели качества безотказного выполнения технологического процесса в соответствии с агротребованиями. При этом для сельскохозяйственных товаропроизводителей главным показателем качества технического сервиса является гамма-процентный ресурс γ. Он имеет большое значение в связи с тем, что это регламентируемая вероятность, а долговечность в процессе эксплуатации МТА – величина статическая и определяется экспериментально.

С этой целью разработана обобщённая математическая модель взаимосвязи основных составных частей МТА в процессе его технического сервиса (рис. 2).

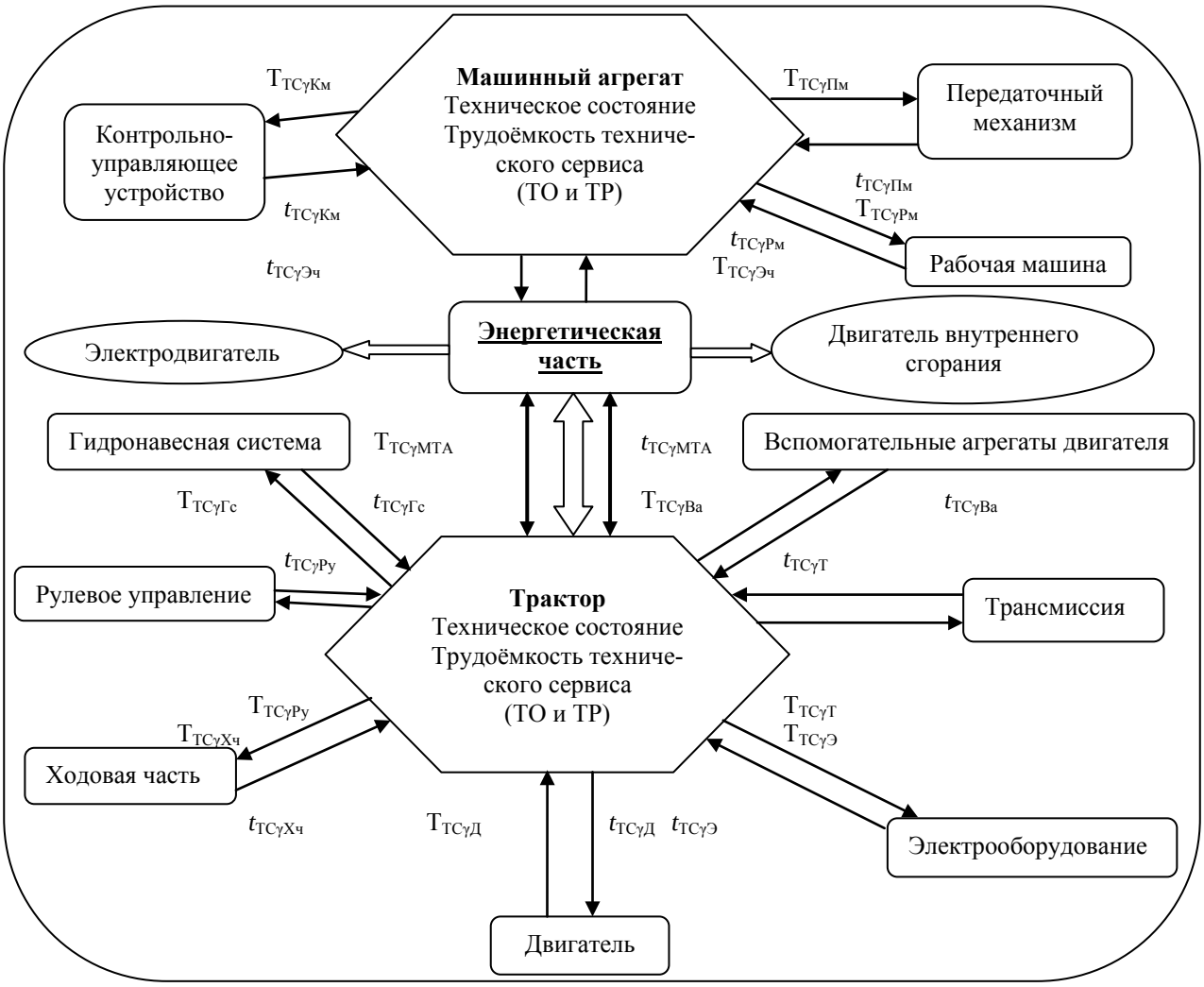


Рис. 2. Имитационная математическая модель взаимосвязи основных составных частей МТА в процессе его технического сервиса.

Для трактора математическая модель учитывает следующие показатели:

- основные элементы таких гамма-процентных ресурсов, как двигатель, вспомогательные агрегаты двигателя, трансмиссия, электрооборудование, рулевое управление, ходовая часть, гидронавесная система ($t_{TC\gamma Д}$, $t_{TC\gamma Ва}$, $t_{TC\gamma Т}$, $t_{TC\gamma Э}$, $t_{TC\gamma Ру}$, $t_{TC\gamma Хч}$, $t_{TC\gamma Гс}$);
- трудоёмкость технического сервиса, соответственно ($T_{TC\gamma Д}$, $T_{TC\gamma Ва}$, $T_{TC\gamma Т}$, $T_{TC\gamma Э}$, $T_{TC\gamma Ру}$, $T_{TC\gamma Хч}$, $T_{TC\gamma Гс}$).

Для машинного агрегата математическая модель учитывает такие показатели:

- основные элементы таких гамма-процентных ресурсов, как энергетическая часть, передаточный механизм, контрольно-управляющее устройство и рабочая машина ($t_{TC\gamma Эч}$, $t_{TC\gamma Пм}$, $t_{TC\gamma Км}$, $t_{TC\gamma Рм}$);
- трудоёмкость технического сервиса, соответственно ($T_{TC\gamma Эч}$, $T_{TC\gamma Пм}$, $T_{TC\gamma Км}$, $T_{TC\gamma Рм}$).

При условии, если гамма-процентный ресурс t_γ имеет распределение по плотности вероятности $f(t)$, вероятность безотказной работы имеет следующий вид:

$$P(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}. \qquad (1)$$

Так как трактор и машинный агрегат, в свою очередь, состоят из отдельных элементов системы, которые находятся в сложном взаимодействии, отказ любого элемента отразится как на его надёжности, так и на технологической работоспособности всей системы в целом. В теории надёжности существуют два основных вида соединения элементов системы. Как показывает анализ, основные элементы системы трактора, с точки зрения его технологической работоспособности, имеют последовательное соединение, так как при этом соединении отказ какого-либо элемента влечёт за собой отказ всей системы. Поэтому, преобразовав выражение (1) с учётом последовательного соединения, гарантированный гамма-процентный ресурс t_γ трактора, при условии, что он не достигнет граничного состояния при его правильно организованном техническом сервисе $t_{TC\gamma}$, имеет следующий вид:

$$\gamma_{\text{Т}} = 100 \times \prod_{i=1}^{7} P(t_{TC\gamma Д}; t_{TC\gamma Ва}; t_{TC\gamma Т}; t_{TC\gamma Э}; t_{TC\gamma Ру}; t_{TC\gamma Хч}; t_{TC\gamma Гс}). \qquad (2)$$

В машинном агрегате из-за его многообразия типов за основу принята универсальная обобщенная схема, учитывающая четыре его компонента: энергетическую часть, передаточный механизм, рабочую машину и контрольно-управляющее устройство. Вся система машинного агрегата имеет последовательное соединение, кроме контрольно-управляющего устройства (рис. 3).

Рис. 3. Схема соединений элементов в системе машинного агрегата.

Имея в виду, что отказ контрольно-управляющего устройства не приведёт к отказу всей системы машинного агрегата, в определении выражения его гамма-процентного ресурса t_γ, при условии, что машинный агрегат не достигнет граничного состояния при его правильно организованном техническом сервисе $t_{TC\gamma}$, учитываем элемент параллельного соединения.

В результате выражение примет следующий вид:

$$\gamma_{\text{МА}} = 100 \times \prod_{i=1}^{3} P(t_{TC\gamma Э}; t_{TC\gamma Пм}; t_{TC\gamma Рм}) \times \left[1 - \prod_{i=2}^{1} \left(1 - P(t_{TC\gamma Км})\right)\right]. \qquad (3)$$

Однако в отдельных случаях при не сложной системе в машинном агрегате в качестве энергетической части используется трактор. Такое сочетание привода к машинно-тракторному агрегату, наиболее часто используемое в сельскохозяйственном производстве.

В результате обобщенный показатель гамма-процентного ресурса t_γ МТА, с предпосылкой, что он не достигнет граничного состояния при правильно организованном техническом сервисе $t_{TC\gamma}$, примет вид:

$$\gamma_{\text{МТА}} = 100 \times \prod_{i=1}^{7} P(t_{TC\gamma Д}; t_{TC\gamma Ва}; t_{TC\gamma Т}; t_{TC\gamma Э}; t_{TC\gamma Ру}; t_{TC\gamma Хч}; t_{TC\gamma Гс}) \times$$
$$\times \prod_{i=2}^{3} P(t_{TC\gamma Э}; t_{TC\gamma Пм}; t_{TC\gamma Рм}) \times \left[1 - \prod_{i=3}^{1} (1 - P(t_{TC\gamma Км}))\right]. \qquad (4)$$

МТА, который проходит технический сервис в соответствии с требованиями нормативно-технической и технологической документации, должен обеспечивать гамма-процентный ресурс, предусмотренный соответствующей нормативной документацией.

Этот показатель обеспечивается надлежащим выполнением всех технологических операций и приёмов, которые выполняются в соответствии с маршрутными картами технического обслуживания и операционными картами текущего ремонта. В зависимости от трудоёмкости и

затрат запасных частей и материалов определяется себестоимость технического сервиса, а также модернизация сельскохозяйственной техники, которая должна соответствовать показателям не только надёжности трактора, но, в целом, и технологической работоспособности машинно-тракторного агрегата.

Выводы. Предложенная математическая модель взаимосвязи основных составных частей машинно-тракторного агрегата в процессе его технического сервиса, а также полученные зависимости параметров гамма-процентного ресурса t_γ как для трактора и машинного агрегата, так и для машинно-тракторного агрегата в целом позволяют определять и прогнозировать эти показатели при разработке нормативно-технологической документации на техническом обслуживании и текущем ремонте, а также устанавливать договорные взаимоотношения между производителями техники, сельскохозяйственными товаропроизводителями и исполнителями услуг в сфере технического сервиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение безотказной работы тракторов / [В. М. Забродский, Г. Е. Топилин, С. Г. Стопалов, Е. Г. Тома]. – К. : Урожай, 1985. –272 с.
2. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин у сільському господарстві / М. В. Молодик. – Кіровоград : КОД, 2009. – 180 с.
3. Технологія технічного обслуговування сільськогосподарської техніки : навчальний посібник / [Л. Ф. Бабицький, І. В. Соболевський, У. А. Абдулгазіс, В. Ю. Москалевич, В. О. Куклін]. – Сімферополь : ДІАЙПІ, 2011. – 447 с.
4. Технологія технічного обслуговування машин : навч. посіб. для студентів інжен. спец. зі спеціалізації «Технічний сервіс» на осв.-кваліф. рівні «Спеціаліст», «Магістр» / [І. М. Бендера, С. М. Грушецький, П. І. Роздорожнюк, Я. М. Михайлович]. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2010. – 320 с.
5. Плаксин А. М. Технический сервис в сельском хозяйстве : учеб. пособие / [А. М. Плаксин, Н. В. Костюченков, А. И. Козак] ; под ред. А. М. Плаксина. – Астана : КАТУ им. С. Сейфуллина, 2011. – 200 с.

УДК 631.314

Бабицкий Л. Ф., Соболевский И. В., Куклин В. А.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РОТАЦИОННОГО РЫХЛИТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

У статті дано теоретичне обґрунтування оптимальних параметрів ротаційного робочого органу для поверхневого обробітку ґрунту.

Ключові слова: *обробіток ґрунту, голчастий диск, зона розпушування, кількість голок, якість розпушування.*

В статье дано теоретическое обоснование оптимальных параметров ротационного рабочего органа для поверхностной обработки почвы.

Ключевые слова: *обработка почвы, игольчатый диск, зона рыхления, количество игл, качество рыхления.*

In this paper we give a theoretical justification of optimal parameters of the rotary operating element for the surface treatment of the soil.

Key words: *Soil needle drive loosening zone, the number of needles, the quality of loosening.*

Постановка проблемы. В связи с возрастающей проблемой обеспечения энергоносителями в Украине экономия энергоресурсов является важнейшей задачей. Одним из путей сокращения энергозатрат и повышения качества поверхностной обработки почвы является совершенствование конструкций существующих рыхлительных рабочих органов.

Анализ литературы. Известны конструкции ротационных рабочих органов борон, состоящие из вращающегося на оси диска с иголками и закрепленными на их концах режущими элементами [1; 2]. Недостатками данных технических решений являются низкая эффективность рыхления поверхностного слоя и невысокая надежность при использовании на засоренных камнями и растительными остатками почвах.

Повысить эффективность рыхления почвы, увеличить площадь зоны рыхления и повысить надежность рабочих органов можно за счет размещения на концах иголок долотообразных режущих элементов с односторонними выступами, выполненными по логарифмической кривой.

Цель статьи – разработка конструкции и теоретическое обоснование оптимальных параметров ротационного рыхлителя для поверхностной обработки почвы.

Изложение основного материала. Ротационный рыхлитель содержит диск 1, иголки 2 с рабочей частью переменной кривизны и рыхли-

тели 3 (рис. 1). Иголки выполнены из прямоугольных упругих пластин и жестко крепятся к диску при помощи болтового соединения. На концах иголок размещены долотообразные рабочие органы с односторонними выступами 3, выполненными по логарифмической кривой.

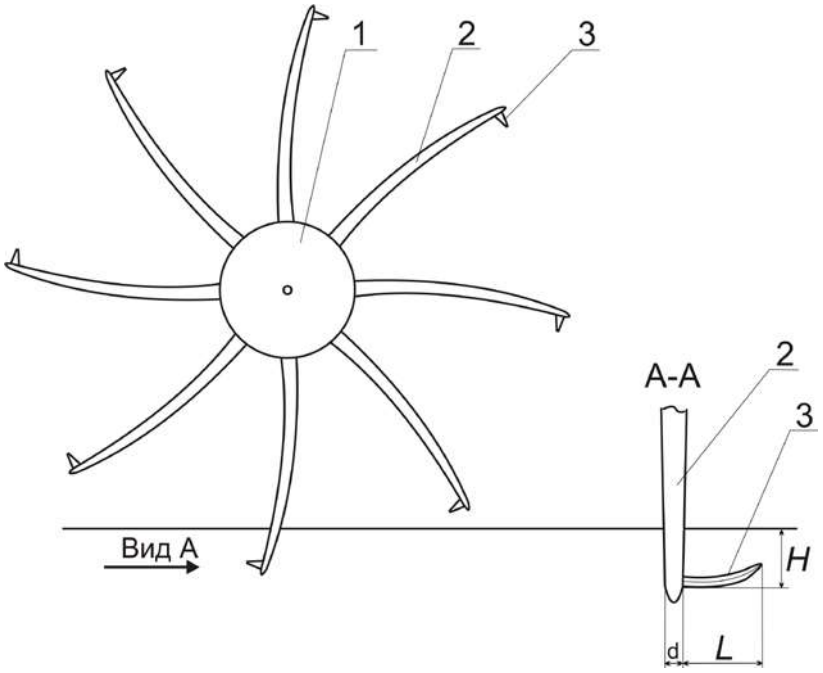


Рис. 1. Ротационный рыхлитель.

Работает предлагаемый ротационный рабочий орган следующим образом. При движении агрегата по полю ротационный орган перекатывается по поверхности почвы, при этом односторонние рыхлительные рабочие органы заглубляются в почву и производят ее рыхление по всей ширине захвата и частичное оборачивание за счет изогнутой формы. Надежность работы на каменистых почвах обеспечивают иголки 2, выполненные из прямоугольных упругих пластин, что позволяет им отклоняться при попадании камней.

Во время движения рыхлителя в почве на глубине h образуются боковые зоны рыхления S_1 и S_2, изображенные на рис. 2, размеры которых равны [3]:

$$S_1 = \frac{d}{2} + h \cdot tg\frac{\varphi}{2},$$

$$S_2 = \frac{d}{2} + L + h \cdot tg\frac{\varphi}{2}, \qquad (1)$$

где d – ширина зуба, м;
L – длина режущего элемента, м;
φ – угол внутреннего трения почвы.

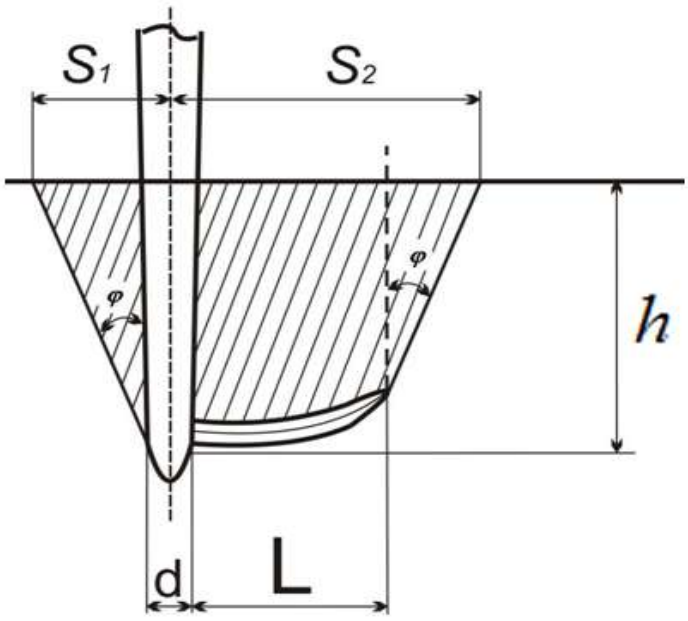


Рис. 2. Зоны рыхления почвы.

Для того чтобы обеспечить перекрытие расстояния между игольчатыми дисками, боковые зоны рыхления S должны быть равные сумме зон рыхления:

$$S = S_1 + S_2 = d + L + 2 \cdot h \cdot tg\frac{\varphi}{2}. \qquad (2)$$

В процессе работы игольчатого диска происходит периодическое внедрение игл с подрезающими лезвиями в почву. Крайняя точка иглы А, изображенная на рис. 3, движется по удлиненной циклоиде. Ширина петли циклоиды $L_п$ будет равна длине участка рыхления одного зуба.

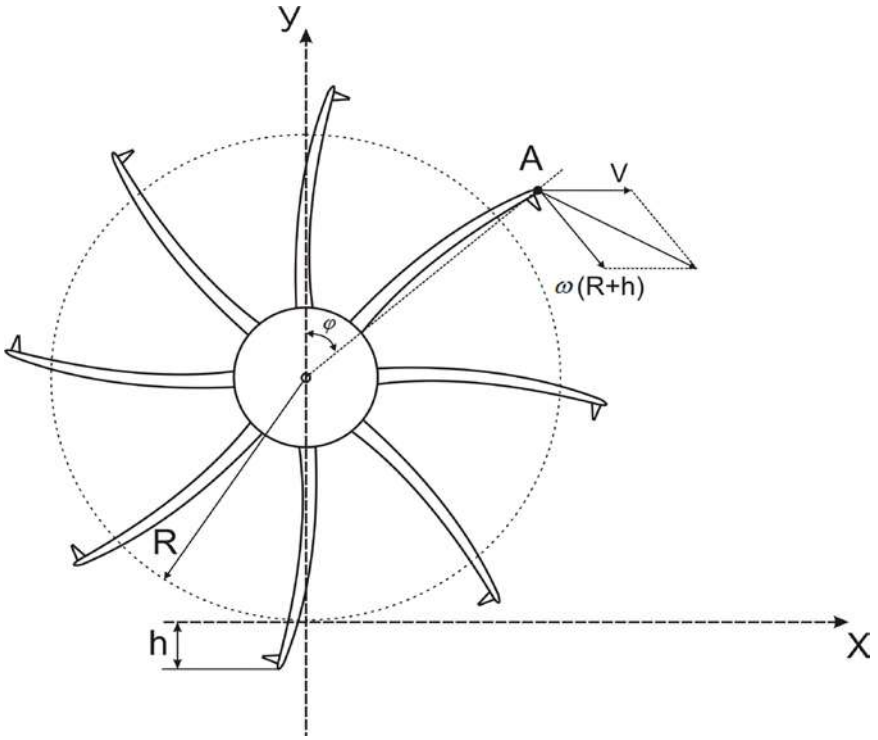


Рис. 3. Расчетная схема к обоснованию количества игл.

Условием качественного рыхления почвы будет обеспечение зон перекрытия, создаваемых соседними зубьями.

Запишем уравнения движения точки зуба А в зависимости от угла поворота диска φ [4]:

$$x(\varphi) = \varphi \cdot R + (R + h) \cdot \sin\varphi, \qquad (3)$$

$$y(\varphi) = R + (R + h) \cdot \cos\varphi, \qquad (4)$$

где R – радиус качения рабочего органа, м;
h – глубина обработки, м.

В момент вхождения иглы в почву уравнение (4) примет вид: $y(\varphi_1) = R + (R + h) \cdot \cos\varphi_1 = 0$, откуда $\cos\varphi_1 = \dfrac{-R}{R+h}$.

Подставляя полученное значение в уравнение (3), и учитывая, что $\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi}$, получим значение координаты $x(\varphi_1)$, соответствующей внедрению иглы в почву:

$$x(\varphi_1) = R \cdot \arccos\left(\frac{-R}{R+h}\right) + (R+h) \cdot \sqrt{1 - \frac{R}{(R+h)^2}} = R \cdot \arccos\left(\frac{-R}{R+h}\right) + \sqrt{2Rh + h^2}. \qquad (5)$$

В момент нахождения точки А в крайнем нижнем положении координата $x(\varphi_2) = \pi R$.

Полуширина петли $L_п$ удлиненной циклоиды будет равна разности этих координат:

$$\frac{L_п}{2} = x(\varphi_1) - x(\varphi_2). \qquad (6)$$

Величина зоны рыхления почвы одной иглой будет равна ширине петли циклоиды:

$$L_п = 2 \cdot \left[x(\varphi_1) - x(\varphi_2)\right] = 2 \cdot \left[R \cdot \arccos\left(\frac{-R}{R+h}\right) + \sqrt{2Rh + h^2} - \pi \cdot R\right].$$

Из условия перекрытия зон рыхления за 1 оборот игольчатого диска $2 \cdot \pi \cdot R = N \cdot L_п$ определим необходимое количество игл N:

$$N = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{L_п} = \frac{\pi}{\arccos\left(\dfrac{-R}{R+h}\right) + \sqrt{2\dfrac{h}{R} + \left(\dfrac{h}{R}\right)^2} - \pi}. \qquad (7)$$

Выводы. Теоретически обоснованы оптимальные параметры предложенного рабочего органа: расстояние между игольчатыми дисками *S* и количество игл *N*.

Использование ротационных игольчатых дисков с предложенными параметрами позволит улучшить качество поверхностной обработки почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. СССР А 01 В 23/02. Рабочий орган бороны / Л. Ф. Бабицкий, А. Л. Бабицкий. – № 1743392 ; заяв. 19.02.1990 ; опубл. 30.06.1992. – 4 с.
2. Пат. України А 01 В 21/04. Робочий орган борони / Бабицький Л. Ф., Тарасенко В. І. ; заявитель и патентообладатель Крымский агротехнологический университет. – № 21470 ; заявл. 03.10.2006 ; опубл. 15.03.2007. Бюл. № 3.
3. Синеоков Г. Н. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 328 с.
4. Бабицкий Л. Ф. Обоснование рациональных параметров катка с повышенной степенью подвижности рабочих органов / Л. Ф. Бабицкий, В. А. Куклин // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 36. Технические науки. – Симферополь, 2012. – С. 86–88.

РАЗДЕЛ 4. ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ТРУДА И ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 331.46:624

Ниметулаева Г. Ш., Аблязов Н. Р.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТРАВМАТИЗМА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

У статті розглянуто основні методи кількісної та якісної оцінки професійного ризику у будівельній галузі.

Ключові слова: *ризик, ймовірність, методи оцінки професійного ризику, небезпечні фактори, засоби захисту.*

В статье рассмотрены основные методы количественной и качественной оценки профессионального риска в строительной отрасли.

Ключевые слова: *риск, вероятность, методы оценки профессионального риска, опасные факторы, средства защиты.*

In the article the basic methods of quantitative and qualitative evaluation of occupational risk in the construction field.

Key words: *risk, probability, methods of assessment of occupational risk, hazards, remedies.*

Постановка проблемы. Изучение профессиональных рисков лиц, работающих во вредных условиях труда, стало актуальной задачей охраны труда только во второй половине XX в. Процесс управления рисками должен быть основой для создания здоровых и безопасных условий труда на каждом рабочем месте.

В строительном комплексе риск может являться причиной аварий, несчастных случаев, а также профессиональных заболеваний и наносить материальные убытки. При переходе на рыночные отношения в погоне за прибылью во многих организациях строительного комплекса всех форм собственности в последние годы сложилась устойчивая тенденция роста производственного травматизма с летальным исходом. В Украине за период 2011–2012 года в строительной отрасли травмировано 939 человек, из них 135 – со смертельным исходом [1].

Оценка риска – это тщательное изучение того, что может причинить вред людям в процессе трудовой деятельности. В нашей стране пока нет единой методики оценки профессионального риска. Кроме того, сложность решения задач по оценке профессионального риска обусловлена тем, что у нас ранее не практиковалось использование самого термина «профессиональный риск».

Анализ литературы. В начале XX века большой вклад в решение проблем оценки рисков и социальной защиты наемных работников внесли такие исследователи, как Н. Е. Введенский, В. В. Берви-Флеровский, Н. А. Вигдорчик, М. И. Туган-Барановский, Г. В. Хлопин.

Работа В. Д. Ройка [2] посвящена профессиональному риску. Большинство вопросов, в ней затрагиваемых, решаются с позиции экономического анализа.

В диссертационной работе О. А. Измайловой [3] показано, что примененный метод расчета суммарных индексов профессиональных заболеваний позволил ранжировать профессиональные группы по степени опасности риска развития профзаболеваний.

В. А. Бондарев и др. [4] разработали комплекс мероприятий, направленных на снижение профессионального риска для пользователей ЭВМ.

В работе С. П. Левашова [5] представлен аналитический обзор концепций и методов оценки профессиональных рисков в Российской Федерации и за рубежом.

Развитие международной практики в области охраны труда идет по пути предупредительных мер в этой сфере, оценки профессиональных рисков и создания эффективной системы управления ими. Международной Организацией Труда разработано Руководство по системам управления охраной труда [6], в основе которой лежит механизм, обеспечивающий беспрерывный цикл улучшения условий труда за счет оценки рисков, планирования и контроля мероприятий по их устранению или снижению.

Анализ литературных источников показывает, что вопросы методологии профессиональных рисков в строительной отрасли недостаточно изучены и обоснованы, поэтому **целью статьи** является анализ методов оценки профессиональ-

ных рисков для снижения уровня производственного травматизма в строительной отрасли.

Изложение основного материала. Стремление к конкурентоспособному производству должно мотивировать работодателей на обеспечение безопасных условий труда работников, максимально снижая уровень профессиональных рисков на рабочих местах.

В строительстве наиболее широко распространенными причинами увечий, связанных с потерей трудоспособности, являются перенапряжение сил; столкновение с различными предметами; падения с высоты, а также падения при скольжении, спотыкании или передвижении на одном и том же уровне; ручная перевозка грузов, подъем или установка технологических узлов; проблема очистки строительного мусора на рабочих местах, в проходах, в зонах монтажа строительных площадок и т. д. [7].

В основе оценки профессиональных рисков лежат результаты аттестации рабочих мест по условиям труда, а также идентификация опасностей, которая основана на получении высококачественной информации. Информацию можно получить из многих источников, и в целом она делится на две категории: внешние данные, к которым относятся законодательство, инструкции, стандарты и нормативы; и данные, получаемые в ходе непосредственного наблюдения и анализа конкретного рабочего места. Практика убеждает, что достичь абсолютной безопасности нельзя, это позволяет сформулировать центральную аксиому безопасности – аксиому о потенциальной опасности. Определенной методики оценки профессионального риска не существует, поэтому используются различные методы и схемы [8].

Методы оценки рисков разрабатывают на основе наблюдений за условиями труда работника (безопасность оборудования, запыленность и задымленность, температура, освещение, шум и т. д. рабочей зоны); определения рабочих заданий (определить все задания, чтобы убедиться, что они включены в оценку риска); анализа рабочих заданий (оценка рисков, появляющихся в результате выполнения заданий работниками); наблюдений за происходящей работой (проверка соответствия проводимых работ предусмотренным требованиям, для того чтобы убедиться, не появятся ли какие-либо другие риски); характера труда (оценка возможных опасностей); внешних факторов, влияющих на рабочее место (например, климатические условия для работников, работающих на открытом воздухе); отчета о психологических, социальных и физических факторах, способствующих стрессу на рабочем месте, как они взаимодействуют между собой и с другими факторами организации труда и рабочей среды; условий организации труда (наличие регламентированных перерывов и др.).

Сделанные наблюдения необходимо согласовать с критериями норм гигиены труда и другими нормативными актами в сфере охраны труда, принимая за основу

а) правовые требования;

б) действующие стандарты безопасности труда, регламенты, инструкции по охране труда, правила трудового распорядка и т. д.;

в) принципы иерархии устранения рисков:
- избежание риска;
- замещение опасных рисков менее опасными;
- ликвидация рисков у самых их истоков;
- внедрение коллективных, индивидуальных средств защиты;
- применение передовых технологий и инноваций;
- повышение уровня безопасности технологического процесса и оборудования.

Риски можно оценить количественно и качественно. *Риск R* – количественная характеристика опасности, определяется как отношение количества событий с нежелательными последствиями (*n – максимальное количество событий в конкретной группе*) к максимально возможному их количеству (*N – максимальное количество всех событий*) за конкретный период времени:

$$R = n/N.$$

Начальным этапом количественной оценки является полуколичественная оценка (табл. 1) [9].

Таблица 1.

Полуколичественная оценка риска по 9-балльной системе.

Вероятность, *Q*	**Степень тяжести, *p***
9 – почти обязательно	9 – смерть
8 – очень возможно	8 – инвалидность 1-й группы
7 – возможно	7 – инвалидность 2-й группы
6 – больше чем случайность	6 – инвалидность 3-й группы
5 – случайность	5 – потеря работоспособности более чем на 4 недели
4 – меньше чем случайность	4 – потеря работоспособности менее чем на 4 недели
3 – маловероятно	3 – потеря работоспособности до 4 дней
2 – очень маловероятно	2 – небольшие ранения
1 – практически невозможно	1 – ранений нет

Математически риск можно выразить формулой:

$$R = Q \times p,$$

где Q – возможность (вероятность происшествия);

p – последствия, степень тяжести, объём убытков.

Риск можно считать допустимым, если численное значение произведения не превышает 40 баллов [9].

Риск можно охарактеризовать также уравнением, которое содержит существование опасности, возможность избежать риска и степень тяжести риска:

$$R = E \times A \times S,$$

где E – вероятность, что существуют определённый риск;

A – вероятность, что можно избежать риска;

S – категория, определяющая степень тяжести риска [9].

Количественная оценка риска рабочей среды основывается на математических методах (используются принципы теории вероятности, алгоритмы, эмпирические коэффициенты, функции, методы анализа, а также различные компьютерные программы).

Опыт показал, что методы количественной оценки трудоёмки. Кроме того, их применение обычно связано с привлечением специалистов из различных областей.

Качественные методы оценки риска используются чаще всего, так как обладают рядом преимуществ по сравнению с численными (или количественными) методами. Самое главное из них – простота. Данные методы легко использовать, они не требуют глубоких знаний и детального анализа материала, соответственно, оценка производится быстро и является финансово выгодной.

Так, например, применяется модель управления рисками, разработанная в Технологическом университете Тампере (Финляндия), которую часто используют, чтобы оценить риски рабочей среды на предприятиях с относительно простыми производственными технологическими процессами (табл. 2 и 3) [9].

Таблица 2.

Матрица оценки рисков.

Частота происшествий	**Категория опасности**			
	катастрофическая	**значительная**	**допустимая**	**незначительная**
A – часто	1A	2 A	3A	4A
B – возможно	1B	2B	3B	4B
C – редко	1C	2C	3C	4C
D – маловероятно	1D	2D	3D	4D
E – невозможно	1E	2E	3E	4E
Индекс риска	Рекомендуемый критерий			
1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 3A	Недопустимый			
1D, 2C, 2D, 3B, 3C	Нежелательный			
1E, 2E, 3D, 4A, 4B	Допустимый с документированием			
4C, 4D, 4E	Допустимый без документирования			

Таблица 3.

Последствия опасностей.

Характеристика	**Категория**	**Определение происшествия**
Катастрофическая	1	Смерть или полное разрушение системы.
Значительная	2	Серьезное повреждение, профессиональное заболевание, частичное повреждение системы.
Допустимая	3	Маловажное повреждение, заболевание, травмы средней степени тяжести.
Незначительная	4	Небольшое повреждение (систем, оборудования и т. п.), незначительные травмы.

Оценка профессионального риска также осуществляется с учетом возможной тяжести последствий опасных инцидентов.

Приведенный в табл. 4 классификатор может быть использован для классификации опасных инцидентов, связанных с нарушениями требований охраны труда. Следует определить нарушения, когда создаются предпосылки для возникновения реальной угрозы жизни работников. Применяемые меры безопасности должны быть адекватны степени риска, возникающего при нарушении требований охраны труда. Чем выше уровень риска, тем жестче должны быть принимаемые меры безопасности [10].

Таблица 4.

Классификатор нарушений требований охраны труда.

Класс риска	Характер нарушений требований охраны труда	Возможная тяжесть последствий
1-й Безопасный	Средства защиты и условия допуска работников к работе не соответствуют нормативам.	Профессиональный риск в пределах допустимого.
2-й Опасный	Неприменение предохранительного пояса при отсутствии ограждений. Допуск к работам лиц без медосмотра, обучения, проверки знаний, стажировки.	Имеется угроза жизни для отдельного работника.
3-й Аварийный	Имеются признаки возникновения аварии (обрушения стенок котлована, пожара в здании). Отсутствуют меры по эвакуации работников и предупреждению аварий.	Имеется угроза жизни для нескольких работников.

За рубежом для оценки профессионального риска применяется методика экспертной оценки, позволяющая проводить оценку при минимальных затратах времени и денежных средств [11]. Любая производственная травма на строительном объекте является итогом в последовательной цепи событий, возникающих вследствие нарушения нормативных требований охраны труда работниками при производстве работ в условиях действия опасных и (или) вредных производственных факторов. Одной из причин несчастных случаев является неприменение средств защиты и мер безопасности, что приводит к возникновению опасной ситуации, связанной с нахождением работника в опасной рабочей зоне. Для каждого типа опасных зон нормативами предусматриваются соответствующие средства защиты и меры безопасности (табл. 5) [12].

Таблица 5.

Средства и меры безопасности, предотвращающие воздействие опасных производственных факторов (ОПФ) на работников.

Опасные рабочие зоны	Средства и меры безопасности
Зоны постоянно действующих опасных производственных факторов, в т. ч.:	Применение средств коллективной защиты для предотвращения контакта работника с ОПФ, а также средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ) от действия ОПФ; предъявление дополнительных требований к работникам.
• места вблизи токоведущих частей электроустановок;	Ограждение токоведущих частей; нахождение на безопасном расстоянии от токоведущих частей; применение СИЗ; предъявление дополнительных требований к работникам.
• места вблизи от не огражденных перепадов по высоте 1,3 м и более;	Установка ограждений или защитно-улавливающих сеток; использование средств подмащивания; применение предохранительных поясов и страховочных канатов; предъявление дополнительных требований к работникам.
• места, где возможно превышение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.	Вентиляция, герметизация оборудования; применение СИЗ органов дыхания; предъявление дополнительных требований к работникам.
Потенциально опасные зоны, в т. ч.:	Меры и средства по снижению вероятности возникновения ОПФ; информация работников о возможной опасности.
• места, над которыми происходит перемещение грузов кранами;	Средства принудительного ограничения зоны работы крана, защитные экраны, сигнальные ограждения опасной зоны.
• участки, территории вблизи строящегося здания.	Защитные сетки и настилы, сигнальные ограждения опасной зоны.

Для определения степени опасности необходимо оценить вероятность воздействия опасного и (или) вредного производственного фактора на работника и ожидаемую тяжесть последствий от этого события. С учетом того, что эта оценка производится экспертно, принято различать следующие уровни вероятности воздействия опасных производственных факторов на работника:

- низкий – маловероятно, что угроза может произойти в ближайшее время;
- средний – угрозы могут произойти в ближайшее время;
- высокий – угрозы могут возникать сейчас.

Как правило, оценка степени риска в каждом конкретном случае делается экспертно на основе проверки наличия или отсутствия факторов опасности. На строительных объектах таковыми являются опасные условия работ и действия работников, которые могут приводить к возникновению пожаров, взрывов, обрушению конструкций и опрокидыванию машин, падению

работников с высоты и другим опасным инцидентам, когда опасность становится очевидной и распространяется на всех работников, находящихся в зоне риска. Однако в ряде случаев признаки угрозы не имеют явно выраженного объективного характера. Тогда необходимо в каждом конкретном случае прогнозировать, каким образом то или иное нарушение требований охраны труда может привести к производственной травме, что может быть оценено степенью риска.

Тяжесть последствий принято определять также экспертно с учетом нормативной характеристики опасного уровня рассматриваемого производственного фактора, в т. ч.:

- для вредных производственных факторов такой характеристикой являются предельно допустимые концентрации (ПДК) и предельно допустимые уровни (ПДУ) опасного воздействия, которые установлены нормативно и определяются посредством инструментальных замеров;
- при работе на высоте – величина перепада по высоте;
- при опасности поражением электротоком – сила тока.

С учетом качественной характеристики уровня опасного воздействия принято определять следующие уровни тяжести:

- умеренный – травмы и заболевания не ведут к затяжному расстройству (недомоганию);
- достаточно серьезный – травмы и заболевания могут привести к затяжному или периодическому заболеванию;
- крайне тяжелый – травмы и заболевания могут привести к инвалидности или летальному исходу одного или нескольких работников.

Чтобы подкрепить количественными оценками качественную градацию степени профессионального риска, применяется балльная оценка параметров профессионального риска. В качестве примера можно привести метод Файн-Кинни [11], по которому степень профессионального риска определяется как произведение трех составляющих: подверженность, вероятность и последствия. Произведение указанных составляющих позволяет определить индекс профессионального риска. При этом срочность проведения мероприятий по профилактике профессионального риска определяется в зависимости от категории и индекса профессионального риска (табл. 6).

Таблица 6.

Определение срочности мероприятий по профилактике профессионального риска.

Категория риска	Индекс риска	Срочность мероприятий
Малый – 1	0–20	Меры не требуются, но уязвимые лица нуждаются в дополнительной защите*.
Умеренный – 2	20–70	Требуются меры по снижению степени риска.
Существенный – 3	70–200	Требуются меры по снижению степени риска в установленные сроки.
Высокий – 4	200–4000	Требуются неотложные меры по снижению степени риска.
Крайне высокий – 5	> 4000	Требуется прекращение деятельности.

Выводы. При оценке профессионального риска используются результаты аттестации рабочих мест по условиям труда, идентификация опасностей, а также различные методы, в том числе количественные, полуколичественные, качественные и т. д. При оценке риска и устранении его последствий, а также проведении корректирующих мероприятий важно, чтобы при оптимизации существующих рисков не создавались новые. Применяемые меры безопасности должны быть адекватны степени риска.

Учитывая, что оценка профессионального риска является наиболее важным звеном системы управления охраной труда в строительстве, внедрение соответствующих методик будет иметь первостепенное значение для структурных подразделений в строительной отрасли, стремящихся к конкурентоспособности и снижению производственного травматизма до уровня передовых развитых стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оперативные данные о состоянии производственного травматизма за 2011–2012 год // Охрана труда. – 2013. – № 2. – С. 7.
2. Ройк В. Д. Профессиональный риск: оценка и управление / В. Д. Ройк. – М. : АНКИЛ, 2004. – 224 с.
3. Измайлова О. А. Системный подход к управлению профессиональным риском при воздействии комплекса физических факторов производственной среды : дис. … докт. мед. наук : спец. 14.00.50 / Оксана Анатольевна Измайлова. – Мытищи, 2006. – 298 с.
4. Бондарев В. А. Факторы риска для профессиональных пользователей ЭВМ / В. А. Бондарев, Т. В. Сарафанова, С. Н. Быкова // Материалы X Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей : [в 2-х кн]. – Кн. 2. – М., 2007. – С. 1017–1020.
5. Левашов С. П. Оценка профессиональных рисков в РФ и за рубежом / С. П. Левашов // Проблемы анализа риска. – 2012. – Т. 9, № 6. – С. 54–66.

6. Руководство по системам управления охраной труда. МОТ-СУОТ 2001 / ILO-OSH 2001. – Женева : МОТ, 2003. – 28 с.
7. Охрана труда в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.helper.by› index.php/stb-18001-ohsas-18001/table/… – Загл. с экрана.
8. Калькис В. Основные направления оценки рисков рабочей среды : учебное пособие / В. Калькис, И. Кристиньш, Ж. Роя. – Рига, 2005. – 76 с.
9. Шаброва Е. С. Процесс управления рисками в области охраны труда / Е. С. Шаброва, Д. В. Шабров // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2012. – № 2(20). – С. 19–22.
10. Рекомендации по разработке локальных нормативных актов (стандартов предприятий), применяемых в системе управления охраной труда в строительной организации. МДС 12-16.2003 / Госстрой России, ФГУ ЦОТС Госстроя России. – М. : ГУП ЦПП, 2003.
11. Зарубежный опыт: экспертная оценка рисков по методу Файн-Кинни [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.government-nnov.ruid=84477.
12. Алексеев В. А. Нормативные основы оценки факторов профессионального риска на строительных объектах / В. А. Алексеев // Охрана труда и техника безопасности в строительстве. – 2009. – № 4. – С. 9–13.

УДК 502.12:621.311.22:697.34

Бекиров Э. А., Абибуллаев А. Н.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЭС. РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ И ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (НА ПРИМЕРЕ САКСКОЙ ТЭС)

У статті досліджені екологічні аспекти діяльності ТЕС. Розглянуто питання, пов'язані з впливом ТЕС на навколишнє природне середовище, проведено розрахунок викидів забруднюючих речовин та їх гранично допустимі значення.

Ключові слова: *екологія, викиди забруднюючих речовин, теплові електростанції, рівень забруднень.*

В статье исследованы экологические аспекты деятельности ТЭС. Рассмотрены вопросы, связанные с воздействием ТЭС на окружающую природную среду, произведен расчет выбросов загрязняющих веществ и их предельно допустимые значения.

Ключевые слова: *экология, выбросы загрязняющих веществ, тепловые электростанции, уровень загрязнений.*

The article studies environmental aspects of thermal power plants (TPP). The issues related to the impact of TPP on the environment have been considered; the emissions of pollutants and their maximum allowable concentration have been calculated.

Key words: *ecology, emissions of pollutants, thermal power plants, the level of contamination.*

Постановка проблемы. Среди многообразия загрязнителей, поступающих в воздушный бассейн в результате работы теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), наиболее распространенными являются твердые частицы, диоксид серы, оксиды азота и угарный газ. Количество и соответствующая структура выбросов зависят от вида топлива и типа котла.

Все выбросы ТЭЦ являются токсическими веществами, негативно воздействующими на организм человека. Полициклические ароматические углеводороды обладают мощным канцерогенным действием. Содержащиеся в выбросах тяжелые металлы и микроэлементы могут накапливаться в различных органах человека или, сосредотачиваясь в почвах, сельскохозяйственных растениях, попадать с продуктами питания в организм человека. Массовые выбросы (оксиды азота, серы, углерода и твердые вещества) воздействуют прежде всего на органы дыхания. Повышение уровня шума влияет на сердечнососудистую и нервную систему, вызывая стрессовые состояния. Существует высокая вероятность получения онкологического заболевания от воздействия канцерогенных веществ.

Анализ литературы. Прогнозируемые объемы производства и потребления энергоресурсов в Крымском регионе, являющихся важной составляющей для успешного развития экономики, детально рассматриваются в литературе [1; 3]. Проблема выброса в атмосферу загрязняющих веществ, губительно действующих на окружающую среду и человека при производстве электроэнергии и тепла на ТЭС с использованием традиционных источников энергии, затрагивается в [2; 4]. Методика определения выбросов в атмосферу на законодательном уровне утверждена и подробно описана в [5].

Цель статьи – рассчитать выбросы Сакской ТЭС и оценить воздействие выбросов на экологическую безопасность г. Саки и Сакского района АРК.

Изложение основного материала. В настоящее время в структуре централизованного теплоснабжения наибольший удельный вес имеют котельные установки – 62%, доля тепловых электростанций составляет 33%, утилизационных установок – 4,8%, остальная выработка тепла (0,2%) осуществляется прочими установками. Тепловая мощность теплоэлектроцентралей составляет 132,8 тыс. ГДж/ч, котельных – 708,9 тыс. ГДж/ч. Анализ показывает, что в структуре мощностей ТЭЦ Украины около 40% составляет энергетическое оборудование, рассчитанное на низкие и средние параметры пара (4 и 9 МПа), которое физически устарело и находится в критическом состоянии. Здесь, прежде всего, стоит задача вывода этого оборудования из эксплуатации и перевода ТЭЦ в режим работы котельных. Количество централизованных котельных мощностью более 84 ГДж/ч составляет 2780, при этом средняя мощность одной котельной – 255 ГДж/ч.

Согласно статистике [1], потери тепла при централизованном теплоснабжении составляют выше 17% общего количества тепловой энергии, передаваемой потребителям. Главными производителями электроэнергии в АРК являются тепловые электростанции. Все работают на газе, в режиме производства электроэнергии и тепла, т. е. являются теплоэлектроцентрали. Суммарная мощность всех электростанций Крыма составляет 374,5 МВт. Мощность Симферопольской ТЭЦ составляет 278 МВт, Севастопольской – 54,5 МВт, Камыш-Бурунскойкой – 30 МВт и Сакской – 12 МВт. На каждого жителя Крыма приходится около 3 тыс. кВт·час электроэнергии в год. Крым находится в сильной зависимости от импорта энергии, объемы которого составляют около 90% от потребления. Таким образом, значительные объемы выбросов, в частности, свойственные предприятиям по производству электроэнергии, происходят в настоящее время вне данного региона.

Поскольку Крым предполагает увеличить объемы производства энергии на собственных мощностях, это неизбежно приведет к повышению уровня загрязнения окружающей среды, даже при условии установки самого эффективного оборудования и очистных сооружений.

На долю сектора энергетики приходится 15% от общего объема атмосферных выбросов от стационарных производственных мощностей в Крыму, что ставит данный сектор на третье место по загрязнению окружающей среды после металлургии (41%) и химической промышленности (21%). Выброс дымовых газов в атмосферу происходит в результате процесса сжигания, а уровень содержания в них вредных веществ зависит от типа топлива и регулирования процесса сжигания. Наиболее значительными объемами атмосферных выбросов являются выбросы CO_2, SO_2, CO, NO_x и твердых частиц.

Углекислый газ (CO_2) является одним из основных химических соединений, приводящих к формированию парникового эффекта, в результате которого происходит глобальное потепление и изменение климата. Количество выделяемого CO_2 зависит от уровня содержания углерода в топливе и количества используемого топлива. Значения CO_2 при сжигании различных видов топлива приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Выбросы CO_2 по типам топлива.

Топливо	**Содержание углерода в топливе, %**	**Отношение CO_2 (т) к количеству топлива (т), $T_{CO_2}/T_{топл}$**	**Отношение CO_2 (г) к величине полезной тепловой энергии (МДж), $Г_{CO_2}$/МДж**	**Отношение CO_2 (г) к величине полезной электроэнергии (кВт·ч), $Г_{CO_2}$/кВт·ч**
Уголь (используемый в Крыму)	87	3,2	98	351
Мазут	86	3,1	77	276
Дизельное топливо	86	3,1	75	269
Природный газ	73	2,8	52	186

Сокращение объемов выбросов CO_2 может быть достигнуто лишь путем уменьшения объемов сжигаемого топлива. Любой технологический процесс, предусматривающий сжигание меньших объемов топлива, позволяет сократить вредные выбросы. В процессе сжигания содержащаяся в топливе сера образует двуокись серы SO_2. Из одного килограмма содержащейся в топливе серы образуется 2 кг SO_2 в дымовых газах при условии, что высвобождается вся сера. Практически 90% содержащейся в топливе серы вступает в реакцию с образованием SO_2 при условии, если не используются установки для снижения уровня загрязнения.

В табл. 2 приведены коэффициенты SO_2 при сжигании различных видов топлива. Выбросы двуокиси серы в атмосферу приводят к аэролизации сульфатов, которые выпадают в виде кислотных осадков на достаточном удалении от места образования.

Таблица 2.

Выбросы SO_2 по типам топлива.

Топливо	Содержание серы в топливе, %	Отношение SO_2 (г) к величине полезной тепловой энергии (МДж), $Г_{SO_2}$/МДж	Отношение SO_2 (г) к величине полезной электроэнергии (кВт·ч), $Г_{SO_2}$/кВт·ч
Уголь (используемый в Крыму)	2,0	1,71	6,17
Мазут	3,5	1,62	5,82
Дизельное топливо	0,5	0,21	0,75
Природный газ	–	–	–

Неполное сгорание топлива приводит к образованию моноксида углерода. Образуемые объемы незначительны, как правило, это миллионные доли его содержания в дымовых газах, и являются результатом низкоэффективного контроля процесса горения. CO токсичен и приводит к возникновению проблем смога и различного рода респираторных заболеваний.

При высоких температурах кислород O_2 вступает в реакцию с азотом N и образует окись азота NO и двуокись азота NO_2. Уровень образования окислов азота зависит от типа используемого топлива, а также технологии процесса сжигания, а именно: температуры, времени пребывания в камере сжигания. В среднем образуется около 90% NO и менее 10% NO_2. Выброс данных газов в атмосферу, в особенности NO_2, приводит к нарушению озонового слоя в верхних слоях атмосферы и образованию смога в нижних слоях. Выбросы NO_2 приводят к возникновению респираторных проблем, а химические реакции в атмосфере образуют азотную кислоту HNO_3, которая выпадает на землю в виде кислотных дождей. Характерные коэффициенты окислов азота, образуемых при сжигании различных видов топлива, представлены в табл. 3. Они получены на основе замеров, проводившихся в различных странах. Данные показатели являются приблизительными, поскольку образование окислов азота зависит не только от типа топлива, но и от специфики технологии его сжигания.

Таблица 3.

Выбросы NO_2 по типам топлива.

Топливо	Отношение NO_2 (г) к величине полезной тепловой энергии (МДж), $Г_{NO_2}$/МДж	Отношение NO_2 (г) к величине полезной электроэнергии (кВт·ч), $Г_{NO_2}$/кВт·ч
Уголь (используемый в Крыму)	0,18	0,66
Мазут	0,32	1,14
Дизельное топливо	0,32	1,14
Природный газ	0,06	0,23

Твердые частицы образуются в процессе сжигания при неполном сгорании угля или в случае содержания инертных материалов в топливе. Выброс твердых частиц несет в себе потенциальную опасность загрязнения окружающей среды, если это частицы токсичных или коррозионных материалов. Твердые частицы, диаметр которых менее 10 микрон, способны беспрепятственно проникать в дыхательную систему и легкие человека. Таким образом, токсичные и канцерогенные вещества непосредственно попадают в организм человека и могут вызывать раковые заболевания. Находящийся в воздухе дым оказывает также негативное влияние на органы зрения.

В табл. 4 представлены характерные показатели выбросов твердых частиц по типам топлива: наибольшие объемы выбросов твердых частиц приходятся на тепловые электростанции, работающие на угле.

Таблица 4.

Выбросы твердых частиц по типам топлива.

Топливо	Отношение твердых частиц (г) к величине полезной тепловой энергии (МДж), г/МДж	Отношение твердых частиц (г) к величине полезной электроэнергии (кВт·ч), г/кВт·ч
Уголь (используемый в Крыму)	2,93	10,4
Мазут	0,1	0,36
Дизельное топливо	0,044	0,16
Природный газ	0,0032	0,01

Теплоэлектроцентрали Крыма, на которых осуществляется комбинированное производство тепловой и электрической энергии, оптимально спроектированные и обслуживаемые на требуемом техническом уровне, могут эксплуатироваться при среднем КПД, равном 80%. При таком уровне эффективности количество продуктов сгорания на единицу вырабатываемой тепловой энергии на 20–30% ниже, чем при производстве такого же объема тепловой и электрической энергии, вырабатываемого на электростанции на традиционном топливе и отопительной котельной. В результате использования природного газа значительно сокращается выброс вредных веществ в окружающую среду [2].

Одной из основных причин увеличения объемов выбросов CO_2 при использовании традиционных видов топлива является прирост выработки электроэнергии в Крыму.

При использовании традиционных видов топлива к 2015 г. новые электрогенерирующие мощности будут загрязнять атмосферу 3500 тыс. тонн CO_2, что может составлять 25–30% от общего объема выбросов CO_2 в регионе.

Воздействие ТЭС на природную среду можно показать в виде схемы [3] (рис. 1).

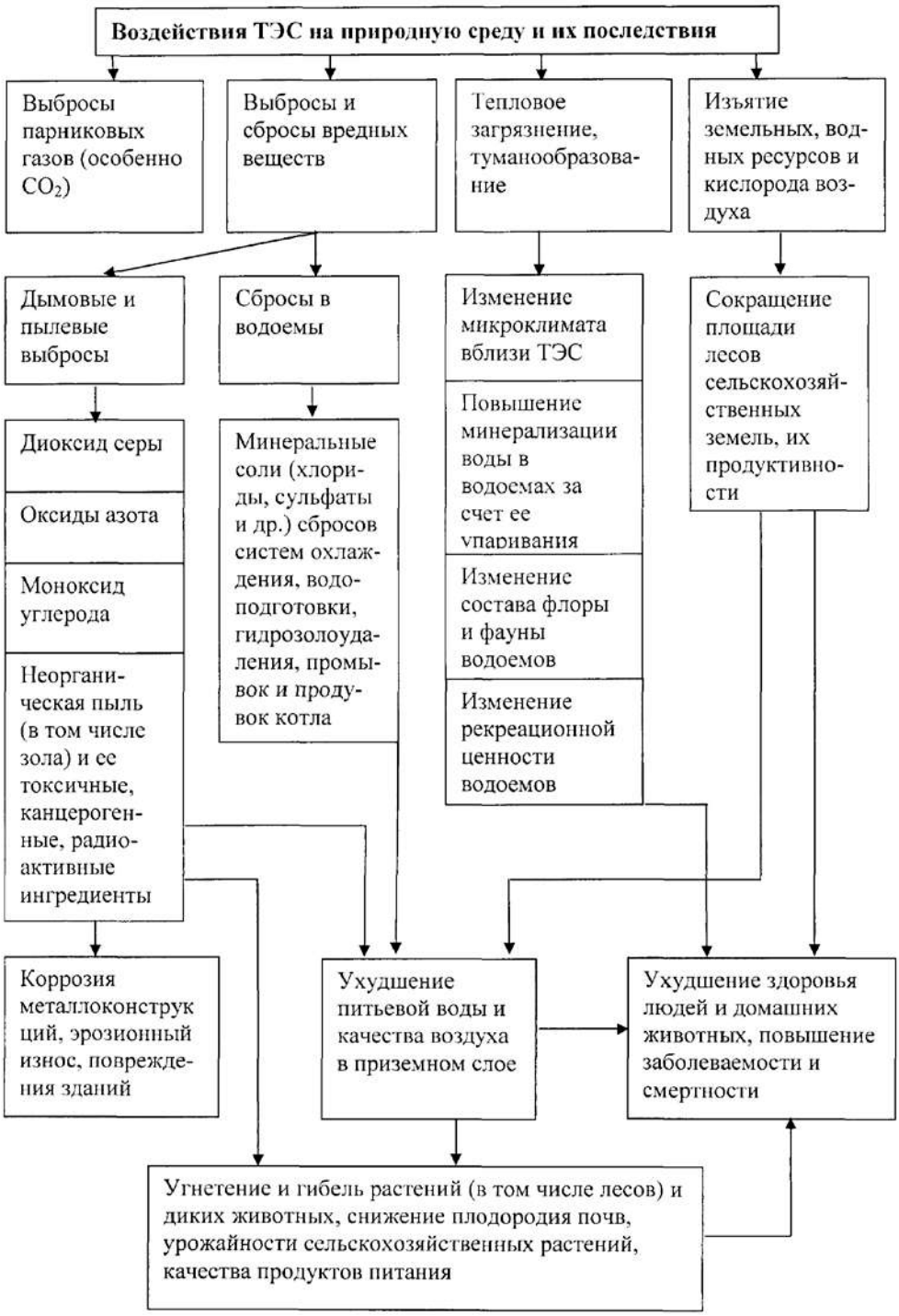


Рис. 1. Блок-схема воздействия ТЭС на природную среду.

Качество окружающего нас воздуха влияет на здоровье людей, развитие животных и растений, на состояние зданий и сооружений. Основными загрязнителями атмосферы при работе тепловых электростанций являются образующиеся при сжигании топлива оксиды азота, серы и летучая зола. Эти вещества рассеиваются в атмосфере и претерпевают в ней химические превращения. Их негативное действие носит локальный, иногда региональный характер. Выбросы золы, NO_x, SO_2, а также в разной степени токсичных продуктов неполного сгорания регламентируются действующими в стране стандартами. Атмосферу могут загрязнять также летучие вещества, выделяющиеся при хранении угля на открытых складах, выпары мазутных баков, унос из градирен тяжелых металлов и микроэлементов.

Сжигание органического топлива, содержащего углерод, связано с образованием CO_2. Его накопление в атмосфере вызывает опасения насчет глобального изменения климата.

Природный газ, не содержащий золы, соединений серы и азота, является экологически наиболее чистым топливом.

Для предотвращения выбросов вредных веществ в атмосферу необходимо выводить из эксплуатации существующие в Крыму ТЭЦ [4] или переводить их на природный газ. Экономически неоправданно осуществлять крупные капиталовложения в соответствующее оборудование для очистки дымовых газов.

В результате исследований установлено, что вклад тепловой электроцентрали в загрязнение атмосферного воздуха колеблется от 9,7 до 59%.

Сакская ТЭС является энергоисточником, участвующим в обеспечении тепловых нагрузок г. Саки. Установленная электрическая мощность ТЭЦ Сакских тепловых сетей несколько лет назад составляла 12 МВт, тепловая – 153 МВт.

Источниками выделения вредных веществ являются котлы, сварочные аппараты, резервуары. Основными загрязняющими веществами являются оксид углерода, ртуть, диоксид азота, метан, оксид железа, марганец и его соединения, кислота серная, углеводороды.

Эксплуатация парогазовой установки мощностью 20 МВт позволила увеличить электрическую мощность до 26 МВт и уменьшить объем выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Согласно санитарным нормам, суммарный уровень загрязнения (предельное загрязнение – ПЗ) и степень опасности определяются по формуле

$$\sum \text{ПЗ} = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \ldots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n},$$

где C_1, C_n – значения концентрации загрязняющих веществ, мг/м^3;

ПДК_1 … ПДК_n – значения предельно допустимых концентраций, мг/м^3.

Рассмотрим работу газотурбинной установки (ГТУ). Источником образования выбросов загрязняющих веществ в атмосферу является ГТУ, в атмосферу от которой выбрасываются оксиды азота и углерода, метан и ртуть. Выброс в атмосферу производится через дымовую трубу высотой 30 м и диаметром 3 м. Топливом служит природный газ. Расчеты валовых выбросов загрязняющих веществ, выполненные по утвержденной методике, определяют выбросы не только загрязняющих веществ, но и парниковых газов (табл. 5).

Таблица 5.

Величины ПДК, класс опасности и валовые выбросы веществ Сакской ТЭС.

Наименование веществ	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	Валовые выбросы	
			г/с	т/год
Оксиды азота	0,085	2	3,745	99,2
Оксиды углерода	5,0	4	0,74	19,6
Закись азота	–	–	0,123	3,27
Метан	50	ОБУВ	0,049	1,3
Ртуть	0,0003	1	0,0000049	0,00019
Суммарное значение загрязняющих веществ			4,657	123,37
Диоксид углерода			755	20001
Суммарное значение парниковых газов			755	20001

При работе ГТУ в атмосферу будут дополнительно выбрасываться 3 т/год загрязняющих веществ. При этом максимальные приземные концентрации совместно с фоновыми не превысят 0,8 ед. ПДК, то есть будут ниже величин, требуемых санитарными нормами для зон отдыха. Сброс неочищенных сточных вод в водоемы отсутствует. Отходы частично утилизируются, частично подлежат захоронению. Допустимый уровень шумового воздействия ГТУ на окружающую среду не превышен. Электромагнитные и ионизирующие излучения отсутствуют.

Расчет валовых выбросов загрязняющих веществ от ГТУ-20 Сакской ТЭЦ выполнен согласно утвержденной методике [5].

При работе ГТУ на природном газе, имеющей такие данные:

- газотурбинная установка ГТЭ-15С,
- расход топлива $Q_т = 5{,}3 \cdot 10^3$ м^3/ч,
- годовой расход топлива $Q_г = 39000 \cdot 10^3$ м^3/год,
- нижняя рабочая теплота сгорания природного газа $Q_i = 35{,}52$ МДж/м^3,

в атмосферу выбрасываются следующие загрязняющие вещества и парниковые газы: оксиды азота, оксид углерода, углекислый газ, закись азота, ртуть, метан.

1. *Валовые выбросы оксидов азота.* Согласно техническим условиям, количество оксидов азота при работе ГТУ в дымовых газах не должно превышать 50 мг/м^3. Выбросы оксидов азота составят при выходе дымовых газов 74,9 м^3/с:

$E_{NO} = 74{,}9$ м^3/с; $Q_{NO} = 50$ мг/м^3 $= 0{,}05$ г/м^3;

в секунду

$$E_{пк} = E_{NO} \cdot Q_{NO} = 74{,}9 \cdot 0{,}05 = 3{,}745 \text{ г/с};$$

в год

$$E_{пк} = \frac{E_{NO} \cdot Q_{NO} \cdot Q_г}{Q_m} = \frac{3{,}745 \cdot 3600 \cdot 39000}{5{,}3 \cdot 10^6} = 99{,}2$$

т/год.

2. *Выбросы оксида углерода*:

$$E_{CO} = 10^{-6} \cdot K_{CO} \cdot Q_г \cdot Q_i,$$

где K_{CO} – показатель эмиссии CO, $K_{CO} = 15$ г/ГДж;
$Q_г$ – расход топлива;
Q_i – нижняя рабочая теплота сгорания природного газа.

Годовые выбросы CO:

$E_{пк} = 10^{-6} \cdot 15 \cdot 39000 \cdot 33{,}52 = 19{,}61$ т/год.

Секундные выбросы CO:

$$E_{пк} = \frac{15 \cdot 5{,}3 \cdot 33{,}52}{3600} = 0{,}74 \text{ г/с}.$$

3. *Выбросы диоксида углерода* рассчитываем аналогично

$$E_{CO_2} = 10^{-6} \cdot K_{CO_2} \cdot Q_г \cdot Q_i,$$

где $K_{CO_2} = 15300$ г/ГДж.

Годовые выбросы CO_2:

$E_{пк} = 10^{-6} \cdot 15300 \cdot 39000 \cdot 33{,}52 = 20001$ т/год.

Секундные выбросы:

$$E_{пк} = \frac{15300 \cdot 5{,}3 \cdot 33{,}52}{3600} = 755 \text{ г/с}.$$

4. Выбросы закиси азота

$$E_{N_2O} = 10^{-6} \cdot K_{N_2O} \cdot Q_г \cdot Q_i,$$

где $K_{N_2O} = 2{,}5$ г/ГДж.

Годовые выбросы N_2O:

$E_{пк} = 10^{-6} \cdot 2{,}5 \cdot 39000 \cdot 33{,}52 = 3{,}24$ т/год.

Секундные выбросы:

$$E_{пк} = \frac{2{,}5 \cdot 5{,}3 \cdot 33{,}52}{3600} = 0{,}123 \text{ г/с}.$$

5. Выбросы с одержанием ртути

$$E_{Hg} = 10^{-6} \cdot K_{Hg} \cdot Q_г \cdot Q_i,$$

где $K_{Hg} = 0{,}0001$ г/ГДж.

Годовые выбросы Hg:

$E_{пк} = 10^{-6} \cdot 0{,}0001 \cdot 39000 \cdot 33{,}52 = 0{,}00013$ т/год.

Секундные выбросы:

$$E_{пк} = \frac{0{,}0001 \cdot 5{,}3 \cdot 33{,}52}{3600} = 0{,}0000049 \text{ г/с}.$$

6. Выбросы метана

$$E_{CH_4} = 10^{-6} \cdot K_{CH_4} \cdot Q_г \cdot Q_i,$$

где $K_{CH_4} = 1$ г/ГДж.

Годовые выбросы CH_4:

$E_{пк} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 39000 \cdot 33{,}52 = 1{,}3$ т/год.

Секундные выбросы:

$$E_{пк} = \frac{1 \cdot 5{,}3 \cdot 33{,}52}{3600} = 0{,}049 \text{ г/с}.$$

Расчетные данные сведены в табл. 6.

Таблица 6.

Расчетные значения выбросов веществ Сакской ТЭС.

Выбросы	**Секундные, г/с**	**Годовые, т/год**	**ПДК, мг/м^3**
Оксид азота	3,745	99,2	0,085
Оксид углерода	0,74	19,6	5,0
Диоксид углерода	755	20001	
Закись азота	0,123	3,24	0,085
Ртуть	0,0000049	0,00013	0,0003
Метан	0,049	1,3	50
Диоксид азота		27,872	
Кислота серная		0,00216	
Итого загрязняющих веществ	4,657	123,37	

Состояние атмосферы в районе размещения ТЭЦ обусловливается выбросами ТЭЦ, автотранспорта и существующих предприятий города Саки. Для оценки влияния на окружающую среду работы ГТУ расчеты рассеивания загрязняющих веществ выполнены по программе «ЭОЛ+», действие которой в Украине согласовано с Министерством экологической безопасности Украины.

Из табл. 6 видно, что по всем веществам, кроме оксида углерода и метана, максимальные приземные концентрации совместно с фоновыми ниже 0,8 ПДК, то есть они удовлетворяют санитарным требованиям зон отдыха.

Вывод. При работе ТЭЦ загрязнение атмосферного воздуха колеблется от 9,7 до 50%. Введение ГТУ на природном газе значительно уменьшает загрязнение, но содержание оксида углерода и метана превышают допустимые санитарные нормы. Концентрация остальных веществ совместно с фоновыми ниже 0,8 ПДК, что удовлетворяет санитарным нормам в зоне отдыха г. Саки. Детальный расчет выбросов на примере Сакской ТЭС подтверждает необходимость перевода существующих в Крыму ТЭЦ в режим работы газотурбинных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистический сборник «Топливно-энергетические ресурсы за 2008–2010 гг. АР Крым» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://govuadocs.com.ua/docs/index-20825870-1.html?page=8.
2. ДСТУ-НБВ.11-27.2001 «Строительная климатология» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://dwg.ru/dnl/10758.
3. Бекиров Э. А. Увеличение энергетического потенциала Крыма при использовании возобновляемых источников энергии / Э. А. Бекиров, Ю. Калачик // Строительство и техногенная безопасность : сборник научных трудов. – 2011. – № 40. – С. 115–123.
4. Бекиров Э. А. Оптимизация режимов распределения нагрузки в совмещенной системе с возобновляемыми источниками энергии / Э. А. Бекиров, К. Стрижаков // Motrol. – Люблин–Симферополь, 2012. – № 1. – С. 149–153.
5. Викиди забруднюючих речовин у атмосферу від енергетичних установок : ГКД 34.02.305-2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://sop.org.ua/library/library.php.

РАЗДЕЛ 4. ТЕХНОЛОГИИ ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 687.022:675.15

Лопашова Ю. А., Лосева Е. И.

РОСПУСК КАК ОДИН ИЗ СЛОЖНЫХ СПОСОБОВ РАСКРОЯ МЕХОВЫХ ШКУРОК

У статті представлено опис складного способу розкрою пушно-хутряних напівфабрикатів в розпуск, виконано теоретичний аналіз способів розкрою хутрових шкурок в розпуск, наведено алгоритм розрахунку параметрів розпуску.

Ключові слова: *пушно-хутряний напівфабрикат, спосіб розкрою, розпуск, кут розпуску, величина зсуву при розпуску.*

В статье представлено описание сложного способа раскроя пушно-меховых полуфабрикатов в роспуск, выполнен теоретический анализ способов раскроя меховых шкурок в роспуск, приведен алгоритм расчета параметров роспуска.

Ключевые слова: *пушно-меховой полуфабрикат, способ раскроя, роспуск, угол роспуска, величина смещения при роспуске.*

The paper describes the complex way of cutting fur semis with letting-out; was made a theoretical ana-lysis of the way of cutting fur pelts with letting-out, the algorithm of calculating the parameters of letting-out.

Key words: *the down fur semis, slicing method, letting-out, the letting-out angle, the offset degree of letting-out.*

Постановка проблемы. Меховая шкурка была первым материалом, который использовался человеком в качестве одежды. Прошли тысячелетия, а натуральный мех все еще остается одним из основных материалов для одежды. Благодаря высокой износостойкости, хорошим теплозащитным свойствам и в то же время красивому внешнему виду натуральный мех широко применяется для изготовления одежды различных видов, для отделки и украшения швейных изделий [1, с. 355]. Он является одним из самых ценных видов материалов, используемых в швейном производстве. Как правило, себестоимость меховых изделий на 80–90% состоит из себестоимости мехового полуфабриката, а их ценовая категория гораздо превышает ценовую категорию текстильных материалов. Поэтому такие изделия являются дорогостоящими изделиями, которые относятся к эксклюзивной нарядной одежде и предполагают длительную носку. В связи с этим к готовым изделиям предъявляются высокие требования к качеству, обеспечить которые можно правильным проведением операций на всех стадиях технологического процесса швейного производства.

Среди основных операций скорняжного производства операции раскроя шкурок являются наиболее трудоемкими и сложными, требующими от исполнителя специальных знаний и высокой квалификации. Как известно, форма и размеры отдельных шкурок не соответствуют форме и размерам лекал деталей изделия, поэтому в отдельных случаях для обеспечения целостного восприятия шкурки применяют способы сложного раскроя (разбивка, спайка, перекидка, расшивка, осадка, роспуск).

По мнению исследователей и специалистов-практиков, занимающихся вопросами раскроя пушно-мехового полуфабриката, наиболее распространенным и сложным из классических способов раскроя является раскрой в роспуск. При раскрое в роспуск расширяются возможности моделирования, такое меховое изделие не имеет видимых стыков между шкурками и смотрится «монолитом», что является одним из важнейших требований, предъявляемых к меховым изделиям.

Анализ литературы. Проблема раскроя пушно-меховых полуфабрикатов в роспуск рассматривалась в научных трудах Е. В. Есиной, С. Н. Горячева, С. А. Геворкянц, А. Ю. Росляковой [2; 3], Ю. А. Коробченко [4], Ф. С. Кутюшева [5], Л. А. Ломакиной [6], З. П. Марсаковой [7], Л. А. Терской [8], Ч. Бужинского [9] и других отечественных и зарубежных ученых. В их работах затронуты различные аспекты реализации указанного способа раскроя.

В частности, Е. В. Есиной разработана структурно-информационная модель процесса конструкторско-технологической подготовки производства для проведения сложного раскроя в роспуск, созданы математическая модель и аналитический способ расчета элементов роспусков [2].

С. Н. Горячев, С. А. Геворкянц, Е. В. Есина, А. Ю. Рослякова предложили усовершенствованный способ удлинения меховой шкурки при раскрое в роспуск [3]. Основными задачами, на решение которых направлен разработанный способ, являются снижение трудоемкости, повышение точности при раскрое и улучшение качества изделия.

В диссертационной работе Ю. А. Коробченко разработаны математические модели, которые характеризуют технологический процесс изготовления меховой одежды сложным методом раскроя в роспуск [4]. Данные модели дали возможность исследовать зависимость угла роспуска от угла шва и линейных параметров шкурки.

Однако следует отметить недостаточность научных публикаций, в которых бы были освещены вопросы практического применения способа раскроя меховых шкурок в роспуск. Рекомендуемые технологии зачастую не приводят к ожидаемым результатам, что, в свою очередь, ведет к снижению качества меховых изделий и, как следствие, неудовлетворенности потребителя.

Цель статьи – выполнить теоретический анализ и сравнение способов раскроя пушно-меховых полуфабрикатов в роспуск, представить алгоритм расчета параметров роспуска.

Изложение основного материала. Прежде чем анализировать способы раскроя меховых шкурок в роспуск, обратимся к понятию «роспуск». С целью удлинения или изменения формы шкурки или ее части на кожевой ткани правленой шкурки производят систему разрезов-роспусков. Роспуск – способ сложного раскроя, заключающийся в смещении клинообразно разрезанных частей шкурок при их сшивании с целью увеличения длины шкурок за счет сокращения ширины. При этом предел удлинения ограничивается допустимым количеством разрезов роспуска и коэффициентом использования площади шкурки в соответствии с отраслевыми нормами. Существует несколько систем роспусков, применение которых зависит от вида пушно-мехового полуфабриката и формы детали скроя, но все они построены на смещении клинообразно нарезанных частей шкурки [10].

Рассмотрим одну из схем наиболее простого способа роспуска – роспуск на длину пластины с одинаковым волосяным покровом. Прямая от точки А до точки Б является линией разреза пластины, точки В и Г определяют положение концов клиньев после сшивания. Расстояние от В до Г называют спуском, от А до В и от Б до Г – смещением спуска. После разрезания, спуска и сшивания пластина увеличивается в длину и уменьшается в ширину (рис. 1).

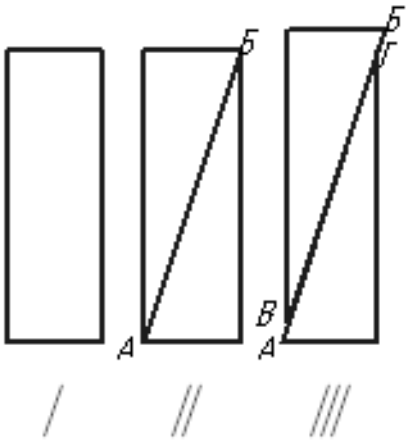


Рис. 1. Роспуск пластины с одинаковым волосяным покровом.

Тем же образом выполняют роспуск на шкурке без ярко выраженного хребта. Когда же рисунок хребта четко обозначен, по обе стороны от него делают два симметричных разреза (рис. 2).

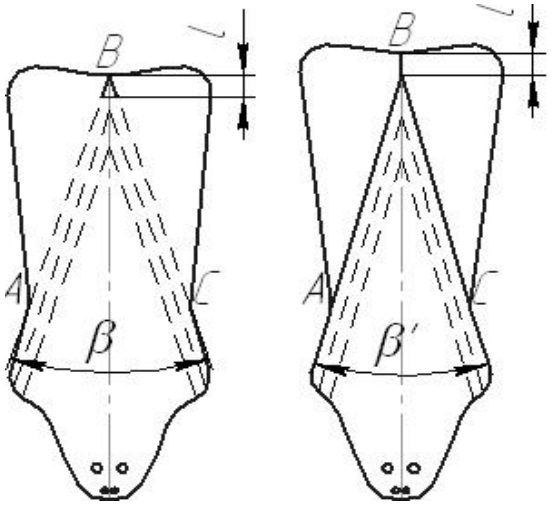


Рис. 2. Роспуск целой шкурки.

Для этого на кожевой ткани шкурки намечают линию хребта, одновременно являющуюся осевой линией, и симметрично проводят линии, образующие угол роспуска β. На этих линиях откладывают величину смещения *l* и ставят точку смещения. Далее от центра огузка делают два симметричных разреза, которые в свою очередь образуют угол АВС. Вершина угла должна быть на линии хребта.

Начинают сшивание от центра угла до метки (точки смещения). Вслед за этим вставляют угол второй половины шкурки и сшивают половинки вместе. Бока шкурки уравнивают. В результате шкурка увеличивается на длину *l*, а ширина ее уменьшается.

Для достижения максимального удлинения шкурки применяют несколько параллельных роспусков. При этом могут использоваться различные их виды: одноклинный, двухклинный, трехклинный, многоклинный и ромбик. При од-

ноклинном роспуске образуется один угол, двухклинный роспуск представляет собой два клина, расположенных буквой М, трехклинный похож на двухклинный, но крайние боковые разрезы делают в обратном направлении, т. е. к шейке. Многоклинный роспуск имеет множество клиньев, количество которых зависит от конфигурации шкурки. Роспуск ромбик применяется в основном на шкурках лисицы. Для этого два угла ромбика располагают вдоль шкурки по линии хребта, а два других – в поперечном направлении (по линии плеч) [11] (рис. 3).

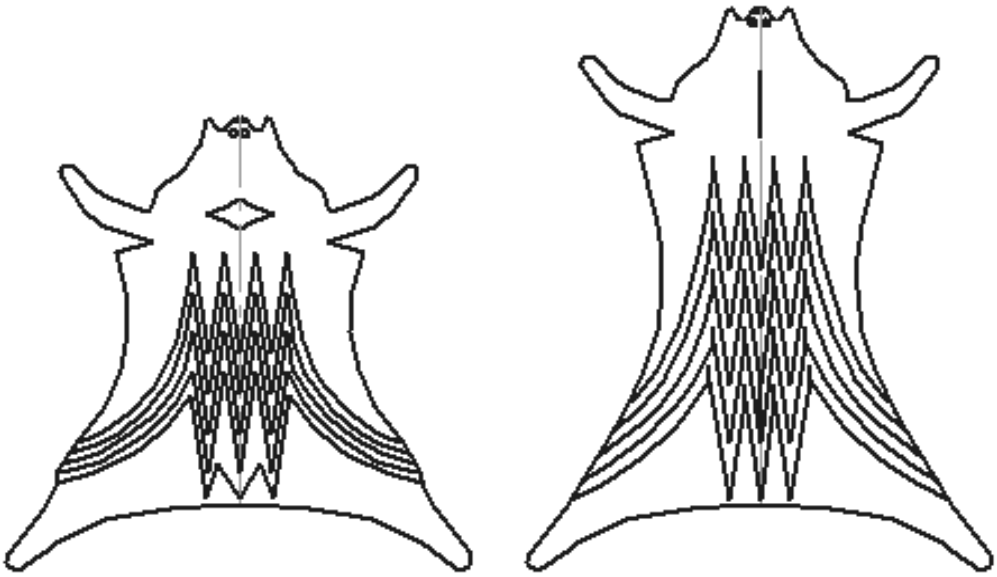


Рис. 3. Роспуск шкурки лисицы – многоклинный и ромбик.

Важными характеристиками при проведении раскроя в роспуск являются угол между двумя линиями разреза шкурки, называемый углом роспуска, и величина смещения клиньев. Анализ параметров роспуска показывает, что величина угла роспуска влияет на однородность волосяного покрова шкурки. Чем больше этот угол, тем больше будет нарушение рисунка хребтовой линии при его смещении. При смещении клиньев острые углы положительно влияют на сохранение топографичности хребта, однако соединение разрезов с острыми углами является технологически сложным моментом. От величины смещения также зависит не только планируемая длина детали, но и характер рисунка волосяного покрова по всей длине пластины. Нередко смещение клиньев происходит при помощи шаблонов, рассчитанных практическим путем и предназначенных для роспуска шкурок определенного размера [10].

Параметры роспуска (число и угол разрезов), в зависимости от требуемого удлинения шкурки, можно рассчитать заранее, ориентируясь на рекомендуемые смещения спуска.

Величина смещения может составлять от 1 до 10 см в зависимости от характера волосяного покрова. Чем однороднее волосяной покров, тем больше допустимо смещение спуска. В табл. 1 приведены рекомендуемые показатели углов и смещения при роспуске [11; 12, с. 12; 13, с. 155].

Таблица 1.

Рекомендуемые показатели величины углов и смещения при роспуске меховых шкурок.

Тип полуфабриката	Величина смещения, см	Угол роспуска, град	
		нормальный	предельный
Белка	1–2	10	15
Колонок	1–2	15	20
Корсак	3–5	20	25
Куница	1–2	10	15
Лисица	2–5	20	30
Норка	1–2	10	15
Песец	1–3	25	30
Соболь	1–2	8	10
Сурок	2–5	15	20
Хорь	1–2	10	15
Каракуль	2–5	15	20

Из табл. 1 видно, что длина шкурки после одного сделанного роспуска увеличивается на 1–5 см. Так, например, требуется удлинить шкурку норки с 57 см до 80 см. Следовательно, удлинение должно составить 23 см. Максимальное смещение для норки составляет 2 см, среднее 1,5 см. Для того чтобы определить число роспусков, следует величину ожидаемого удлинения разделить на допустимое смещение, взяв среднее значение (23 : 1,5 = 15). Таким образом, чтобы удлинить шкурку до 80 см, достаточно сделать 15 роспусков со смещением в 1,5 см.

Данная методика не исключает выполнения пробного роспуска на одной-двух шкурках и только после корректировки шаблона для раскроя всех шкурок. Такой подход имеет ряд недостатков, таких как повышенная трудоемкость, неточность расчетов, снижающих качество изделия.

В результате исследований, проведенных в Научно-исследовательском институте меховой промышленности (НИИМП), был разработан графический метод расчета роспуска (рис. 4).

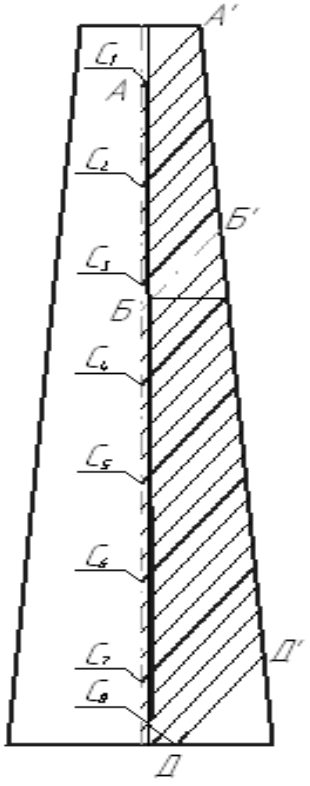


Рис. 4. Графический метод расчета роспуска.

На основе анализа этого метода были выявлены следующие его особенности. Данный метод предполагает вычисление ширины шкурки после удлинения, определение на шаблоне шкурки участка роспуска, линий первого и последнего разрезов, зон и числа полосок роспуска, среднего и удельного удлинения шкурки. Для более точного определения смещения в соответствии с топографией шкурку разбивают на участки и определяют смещение клиньев. В ходе логических, математических и графических операций, объединенных в единый алгоритм расчета, получают величину смещения для каждого участка отдельно [3; 10].

Для расчета используют следующие данные:

- $l_{шк}$ (длина шкурки) – 57 см;
- $l_{уд}$ (длина шкурки после удлинения) – 80 см;
- $l_{н}$ (величина, необходимая для удлинения шкурки) – 80 – 57 = 23 см;
- угол раскроя – 35 град;
- $S_{шк}$ (площадь шкурки) – 830 см^2, или 8,3 дм^2.

Алгоритм расчета следующий (на примере удлинения шкурок длиной 80 см).

I. Определение ширины шкурки после удлинения:

1) измеряют ширину шкурки вверху (шейная часть) $Ш_{ш}$ = 11 см и ширину шкурки внизу (огузок) $Ш_{о}$ = 15 см;
2) определяют среднюю ширину шкурки до удлинения:

$$Ш_{ср} = (Ш_{ш} + Ш_{о}) : 2, \quad (1)$$

$$Ш_{ср} = (11 + 15) : 2 = 13 \text{ см};$$

3) учитывая потери на швы (15% от общей площади шкурки при раскрое в роспуск) находят площадь шкурки после удлинения:

$$S_{уд} = S_{шк} - П = S_{шк} - \frac{S_{шк}}{100\%}, \quad (2)$$

где $S_{шк}$ – площадь шкурки до удлинения, см^2;
П – потери на швы, см^2.

$$S_{уд} = 8{,}3 - \frac{8{,}3 \cdot 15}{100} = 7{,}1 \text{ дм}^2 = 710 \text{ см}^2;$$

4) вычисляют среднюю ширину удлиненной шкурки:

$$Ш_{ср.уд.шк.} = S_{уд} : l_{уд}, \quad (3)$$

где $S_{уд}$ – площадь шкурки после удлинения, см^2;
$l_{уд}$ – длина шкурки после удлинения, см;

$$Ш_{ср.уд.шк.} = 710 : 80 \approx 9 \text{ см}.$$

II. Определение фактической ширины шкурки после удлинения в шейной части и огузке выполняют графически по размеченному лекалу изделия и получают ширину шейной части фактическую $Ш_{шф}$ = 6,8 см и ширину огузка фактическую $Ш_{оф}$ = 11 см.

III. Определение участка роспуска и линий первого и последнего разрезов (рис. 4):

1) от хребтовой линии по направлению к боковой по верхней горизонтали и от боковой линии к хребтовой по нижней горизонтали наносят отрезки, равные, соответственно, половине фактической ширины шкурки после удлинения в шейной части и в огузке;

2) через полученные точки под углом, равным углу раскроя, проводят линии первого и последнего разрезов;
3) участок роспуска между первой и последней линией разреза делят на равные отрезки, в данном примере на 28, при этом ширина одной полоски роспуска составляет 2 см;
4) находят среднее удлинение:

$$l_{ср.шк.} = n, \quad (4)$$

где $l_{ср.шк.}$ – величина, на которую необходимо удлинить шкурки;
n – количество разрезов

$$l_{ср.шк.} = 23 : 29 = 0,8 \text{ см};$$

5) выделяют расчетное число зон на участке роспуска; при этом необходимо помнить, что число зон роспуска должно быть кратно числу полосок роспуска; здесь число зон роспуска 28, а коэффициент кратности принимают равным 4; тогда расчетное число зон на участке роспуска равно 7; число полосок роспуска в каждой зоне также равно 4.

IV. Определение среднего удлинения по линии разреза, определяющей среднюю ширину полосы удлиненной шкурки (ББ'), и среднего удлинения по линиям первого (ДД') и последнего (АА') разрезов:

1) находят положение линии ББ'; для этого по любой из линий роспуска откладывают среднее удлинение шкурки, здесь 0,8 см, и через полученную точку проводят вертикаль; далее графически определяют местоположения средней ширины удлиненной шкурки, откладывая половину ее значения от найденной вертикали в горизонтальном направлении до пересечения с боковой стороной шкурки (здесь 4,5 см); точка пересечения горизонтали с линией разреза шкурки – положение линии ББ';
2) выражают среднее удлинение в процентах; его принимают за 11%; после чего определяют среднее удлинение по линии первого разреза (14,4%) и среднее удлинение по линии последнего разреза (7,6%).

V. Определение удельного и расчетного удлинений каждой зоны C_1, C_2, C_3 и т. д. (рис. 4):

1) распределяют разницу между удлинениями по линии первого и последнего разрезов и средним удлинением по линии ББ' поровну по зонам, то есть 14,4% – 11% = 3,4% по зонам от линии АА' до ББ', а разницу между 11% – 7,6% = 3,4% по зонам от линии ББ' до ДД'; так, здесь от линии ББ' до АА' три зоны; это означает, что на них приходится 1,1% или 0,08 см; а от линии ББ' до ДД' пять зон; это означает, что на каждую зону приходится 0,7% или 0,05 см; найденные величины – это приращения, которые принимают отрицательными для зон выше линии ББ' и положительными ниже линии ББ';
2) известным путем определяют расчетное удлинение каждой зоны; в качестве примера вычислим здесь удлинение третьей зоны:

$$l_3 = l_{ср.шк.} - 0,17, \quad (5)$$

где l_3 – удлинение третьей зоны, см;
$l_{ср.шк.}$ – среднее удлинение, см;

$$l_3 = 0,8 - 0,17 = 0,6 \text{ см}.$$

Представленный алгоритм расчета роспуска был испытан в лабораторных и производственных условиях. Получены положительные результаты.

Такой расчет позволяет снизить трудоемкость за счет исключения предварительного пробного раскроя шкурок, повысить точность раскроя и качество изделия за счет улучшения его эстетических показателей, не учитывать при раскрое зональную топографию волосяного покрова на шкурке.

Выводы. Роспуск является наиболее сложным способом раскроя меховых шкурок, однако он находит большое применение в производстве меховых изделий отечественных и зарубежных фирм, так как его использование дает возможность спроектировать высококачественное, отвечающее всем предъявляемым требованиям меховое изделие.

В процессе роспуска изменяются линейные размеры шкурок, поэтому перед раскроем следует рассчитать показатели роспуска. Изменение длины шкурки при роспуске зависит в основном от смещения клинообразной полоски.

Рассмотрев разные варианты выполнения роспуска, отметим, что этот способ требует от исполнителя специальных знаний и высокой квалификации.

Представленный алгоритм расчета роспуска может быть использован на практике при раскрое меховых шкурок.

В заключение отметим, что при выборе сложного способа раскроя необходимо учитывать вид меха, особенности волосяного покрова и кожевой ткани, линейные размеры и другие показатели шкурки. Сложные способы раскроя можно рекомендовать для таких видов шкурок, на которых в случае правильного раскроя после сшивания разрезов швы со стороны волосяного покрова не заметны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузов Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности : учебник для студ. высш. учебных завед. / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова ; [под ред. Б. А. Бузова.]. – М. : Академия, 2004. – 448 с.

2. Есина Е. В. Разработка способа проектирования меховых изделий с применением методов сложного раскроя : дис. на соискание ученой степ. канд. техн. наук : спец. 05.19.04 / Е. В. Есина. – М. : МТИЛП, 1993. – 169 с.
3. Пат. 2179403 Российская Федерация, МПК[7] А 41 D 5/00. Способ удлинения меховой шкурки при раскрое в роспуск / С. Н. Горячев, С. А. Геворкянц, Е. В. Есина, А. Ю. Рослякова ; заявитель и патентообладатель ОАО «Научно-исследовательский институт меховой промышленности». – № 2000132961/12 ; заявл. 28.12.00 ; опубл. 20.02.02. Бюл. № 4.
4. Коробченко Ю. А. Розробка системи проектування швейних виробів з натурального хутра : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 05.19.04 «Технологія швейних виробів» / Ю. А. Коробченко. – К., 2002. – 16 с.
5. Кутюшев Ф. С. Скорняжное производство / Ф. С. Кутюшев. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 224 с.
6. Ломакина Л. А. Технология изготовления меховых изделий : конспект лекций / Л. А. Ломакина. – Владивосток : ВГУЭС, 2006. – 91 с.
7. Марсакова З. П. Производство меховых и овчинно-шубных изделий : учеб. пособие для сред. спец. учеб. завед. легкой промышленности / З. П. Марсакова, Е. М. Расс-Серебряная, А. Ш. Аппаков. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 319 с.
8. Терская Л. А. Теоретические основы проектирования меховых изделий : монография / Л. А. Терская. – Владивосток : ВГУЭС, 2001. – 139 с.
9. Скорняжное производство / [Ч. Бужинский, И. Дуда, Р. Джежа, А. Сулига] ; [пер. с польского Ж. А. Частновой ; под ред. М. П. Шварцмана]. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 128 с.
10. Есина Е. Роспуск. Метод сложного раскроя [Электронный ресурс] / Елена Есина. – Режим доступа : http://gold-fox.ru/01-04-01-04.php.
11. Производство овчинно-шубных изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://bbsv.ru/production/proizv/GlavaIII/index.htm#g32.
12. Киреевский И. Р. Пошив меховых изделий / И. Р. Киреевский. – Донецк : ООО «Издательство АСТ» ; Сталкер, 2004. – 109 с.
13. Самсонов М. А. Выделка шкур и скорняжные работы / М. А. Самсонов. – М. : Вече, 2000. – 208 с.

УДК 687.02:004.942

Сейдаметова З. Н.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

У статті розглянуті основні напрями використання 3D-технологій у процесі проектування одягу для отримання цифрових моделей манекенів фігур людини, для створення об'ємних ескізів одягу, тривимірної візуалізації одягу і для тривимірного конструювання одягу.

Ключові слова: *САПР одягу, 3D-технології, 3D-графіка.*

В статье рассмотрены основные направления использования 3D-технологий в процессе проектирования одежды для получения цифровых моделей манекенов фигур человека, для создания объемных эскизов одежды, трехмерной визуализации одежды и для трехмерного конструирования одежды.

Ключевые слова: *САПР одежды, 3D-технологии, 3D-графика.*

The article describes the main directions of 3D-technology in the process of designing clothes for digital models mannequins human figure, to create three-dimensional sketches of clothing, clothing, and three-dimensional visualization of three-dimensional design of clothing.

Key words: *apparel CAD, 3D-technology, 3D-graphics.*

Постановка проблемы. Наиболее трудоемким и затратным в производстве одежды является процесс ее проектирования, качество которого зависит от множества факторов: соответствие множеству размерных признаков типовых фигур человека, сменяемость направлений моды, большое разнообразие швейных материалов с различными свойствами, большой долей творческих работ и т. д. Поэтому отечественные и зарубежные производители программных продуктов швейной отрасли уделяют большое внимание именно разработке программ и программных модулей для систем автоматизированного проектирования (САПР) одежды.

Анализ исследований и публикаций. На современном этапе развитие автоматизации швейной отрасли системы автоматизированного проектирования одежды (САПРо) делят на две группы: системы *двухмерного* (2D) и *трехмерного* (3D) *проектирования* [1, с. 87].

В последнее время в многообразии программных разработок для САПР одежды наиболее перспективными выделяют программные продукты, использующие 3D графические системы проектирования.

Целью данной **статьи** является анализ возможностей 3D-технологий в процессе проектирования швейных изделий.

Изложение основного материала. Системы 3D-проектирования базируются на использовании исходной информации трехмерной модели фигуры человека и инженерных методов конструирования.

Инженерные методы основаны на прямых измерениях оболочки поверхности образца-эталона одежды и его развертки. К ним можно отнести метод триангуляции, геодезических линий, горизонтальных сечений, линий развертывания и т. д.

Обзор современных САПР одежды позволил выделить четыре направления использования 3D-графики:

- для получения цифровых моделей трехмерных манекенов типовой и индивидуальной фигур человека;
- для создания объемных эскизов одежды;
- для трехмерной визуализации одежды;
- для трехмерного конструирования одежды.

Выполнение проектных работ в трехмерном пространстве с использованием манекена или конкретной фигуры в качестве исходной информации объемной формы обеспечивает поиск наиболее качественных проектных решений на всех этапах проектирования. Получение цифровых моделей трехмерных манекенов возможно различными способами с использованием компьютерных технологий:

- посредством специальных программных модулей для создания и редактирования электронных манекенов;
- посредством компьютерных технических средств.

В последнее время ведущие разработчики САПР одежды ведут научно-практические исследования по созданию и внедрению программных модулей для создания виртуальной фигуры человека. Среди них можно выделить такие, как Lectra systems (Франция) – модуль «Modaris 3D Fit», Gerber Garment Technology (США) – модуль «APDS-3D», PAD systems (Франция) – модуль «3D Sample», Optitex (Израиль) – модуль «Runway», Julivi (Украина) – программа «Электронный манекен».

Эти разработки предлагают набор виртуальных манекенов стандартной фигуры человека и позволяют корректировать поверхность манекенов с учетом индивидуальных размерных признаков (рис. 1).

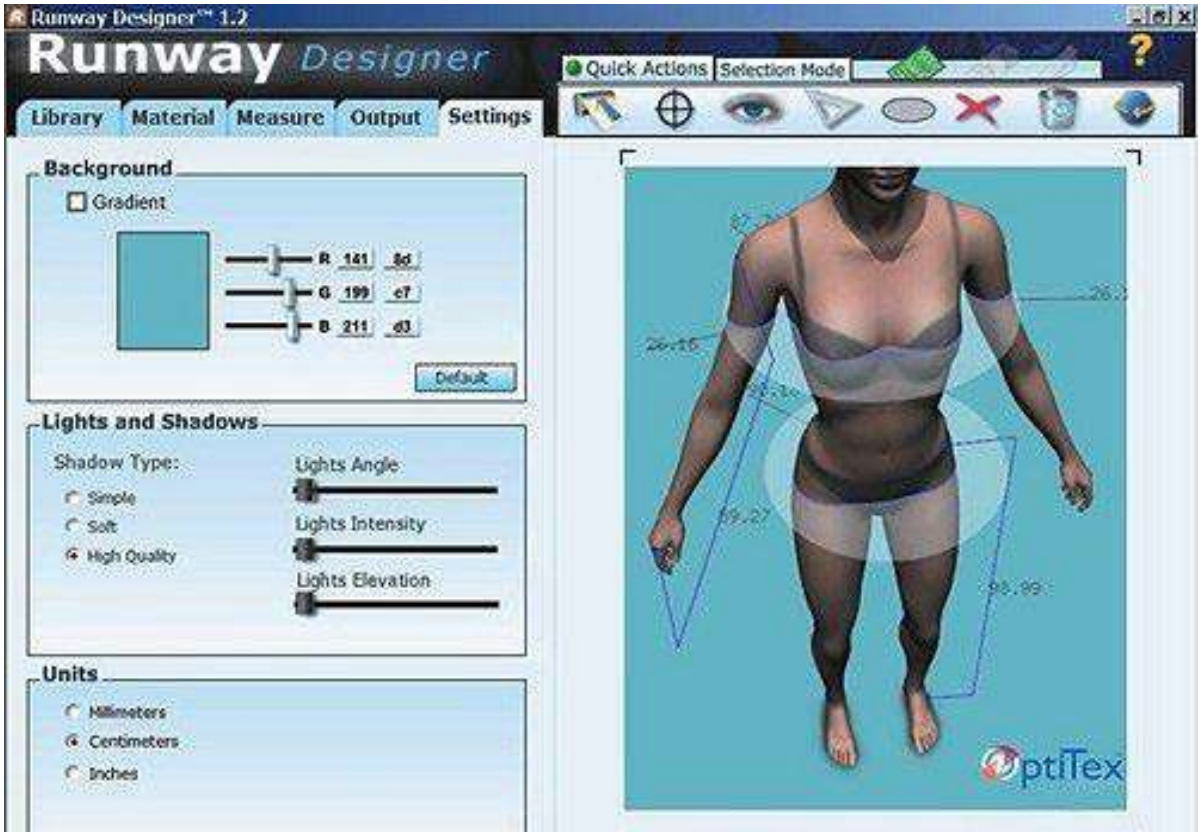


Рис. 1. Рабочее окно модуля « Runway» (Optitex).

Возможность быстрого получения цифровых моделей трехмерных манекенов индивидуальной фигуры любого человека появилась благодаря использованию цифрового фотоаппарата и *системы трехмерного бодисканирования*, которые дают возможность оцифровать (отсканировать) поверхность фигуры человека и по полученной цифровой модели манекена выполнить точное измерение всех размерных признаков.

САПР «ЛЕКО» (компания «Вилар софт», Москва) для снятия размерных признаков и построения виртуального манекена использует цифровой фотоаппарат и программный модуль LF1 для обработки полученных в разных проекциях фотографий (рис. 2).

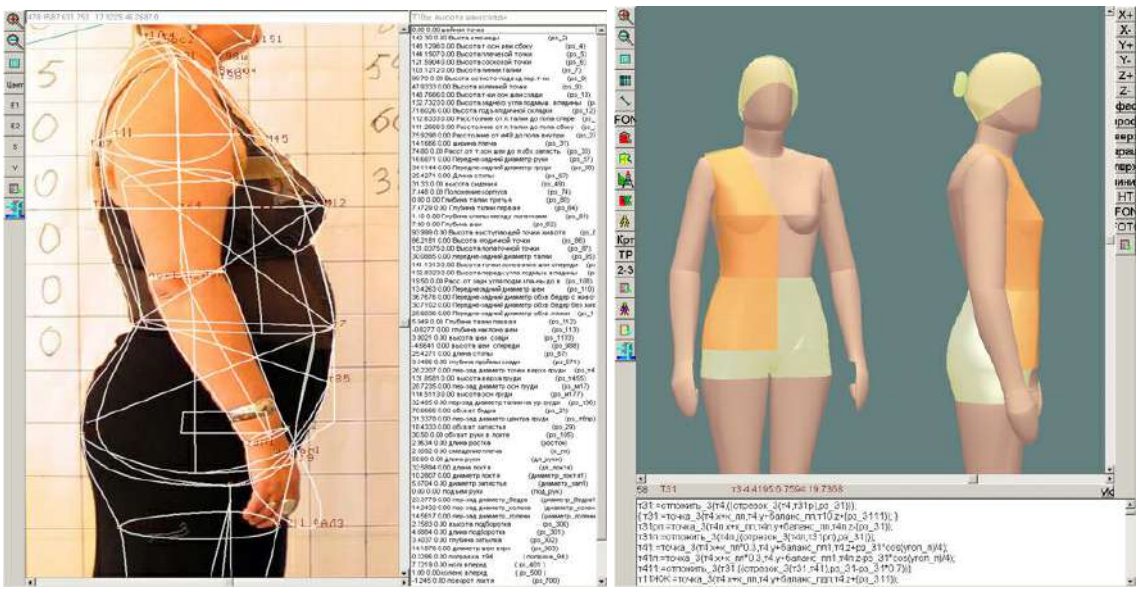


Рис. 2. Рабочие окна программы «ЛЕКО» для обработки данных реальной и виртуальной фигуры человека.

Система бодисканирования представляет собой совокупность технического устройства – *3D-сканера,* или *бодисканера*, предназначенного для передачи данных сканирования (множества точек) с поверхности фигуры в компьютер, и специальной программы для измерения необходимых размерных признаков с цифровой копии отсканированной фигуры (рис. 3).

Рис. 3. Системы трехмерного бодисканирования.

Полный цикл измерения одной фигуры занимает 10 с, а точность измерений – до 0,01 см. Благодаря быстрому получению информации с поверхности объекта можно проводить бесконтактные измерения большого количества человек. С помощью таких систем бодисканирования уже созданы базы данных для формирования национальных антропометрических стандартов фигур в США, Великобритании, Мексике и других странах [2, с. 33].

Второе направление использования трехмерной графики реализуется в программных продуктах, позволяющих выполнять объемные эскизы одежды на основе 3D фигуры человека.

Одной из таких программ является VF Basic Virtualfashion, которая позволяет выполнить объемный эскиз модели легкой женской и мужской одежды. Формообразование модели в данной программе осуществляется посредством силуэтных сеток на виртуальной фигуре (рис. 4).

Рис. 4. Эскизы моделей платья, выполненные в программе VF Basic Virtualfashion.

На полученный каркас одежды «натягивается» текстура различных фактур материалов, параметры которых (цвет, рисунок) можно изменить для проектируемой модели. При выборе различных тканей для костюма изменяется не только ее цвет и фактура, но и механические свойства, которые визуально отображаются на мониторе. Это дает возможность художнику-модельеру найти оригинальное композиционное и колористическое решение, а также визуально оценить пластику выбранного материала.

Практически все ведущие мировые разработки 3D САПР содержат программные модули для трехмерной визуализации одежды. Для получения объемного образца одежды из полученного на плоскости (в 2D-программах) комплекта лекал выполняются следующие процедуры:

- обозначение линий соединения деталей;
- задание физических свойств материала (цвет, фактура, рапорт и т. д.);
- обозначение размещения деталей в пространстве относительно виртуального манекена [3, с. 200].

Далее программа автоматически моделирует процесс «одевания» выбранной модели одежды на виртуальный манекен. Трехмерная визуализация одежды (рис. 5) дает возможность оценить баланс одежды, длину изделия и рукавов, его посадку, изменить физические свойства материала, визуальные свойства ткани и т. д.

Рис. 5. Виртуальная «примерка» на манекен в программе Optitex.

Модуль визуализации одежды открывает новые возможности для работы с заказчиками одежды в Интернете. Благодаря развитию подобной технологии заказ одежды будет осуществляться через Интернет-сайты магазинов или ателье, в программе которых заказчик может ввести или выбрать свои индивидуальные размерные признаки и оценить выбранную модель на своей копии виртуального манекена [3, с. 206].

В настоящее время развивается направление использования 3D графики для трехмерного конструирования одежды. Этот подход предполагает получение лекал одежды методом развертки трехмерной поверхности одежды на плоскость. Сегодня в мире можно выделить небольшое число систем: «Design Concept 3D» – разработка компании «Concept Design Incorporated» (США), «Asahi» – разработка концерна «Asahi» (Япония), 3D-СТАПРИМ (Россия), которые можно назвать полноценными системами трехмерного проектирования одежды.

В основе программы 3D-СТАПРИМ лежит компьютерная технология процесса макетирования одежды на виртуальном манекене (объемная геометрическая модель одежды) [3, с. 214] и развертки ее на плоскости.

Принципиальное отличие предлагаемых методов конструирования разверток деталей одежды по заданной поверхности заключается в приоритете пространственной формы одежды над ее разверткой (рис. 6), т. е. первичности задания трехмерной формы одежды и вторичности построения ее развертки на плоскости [4].

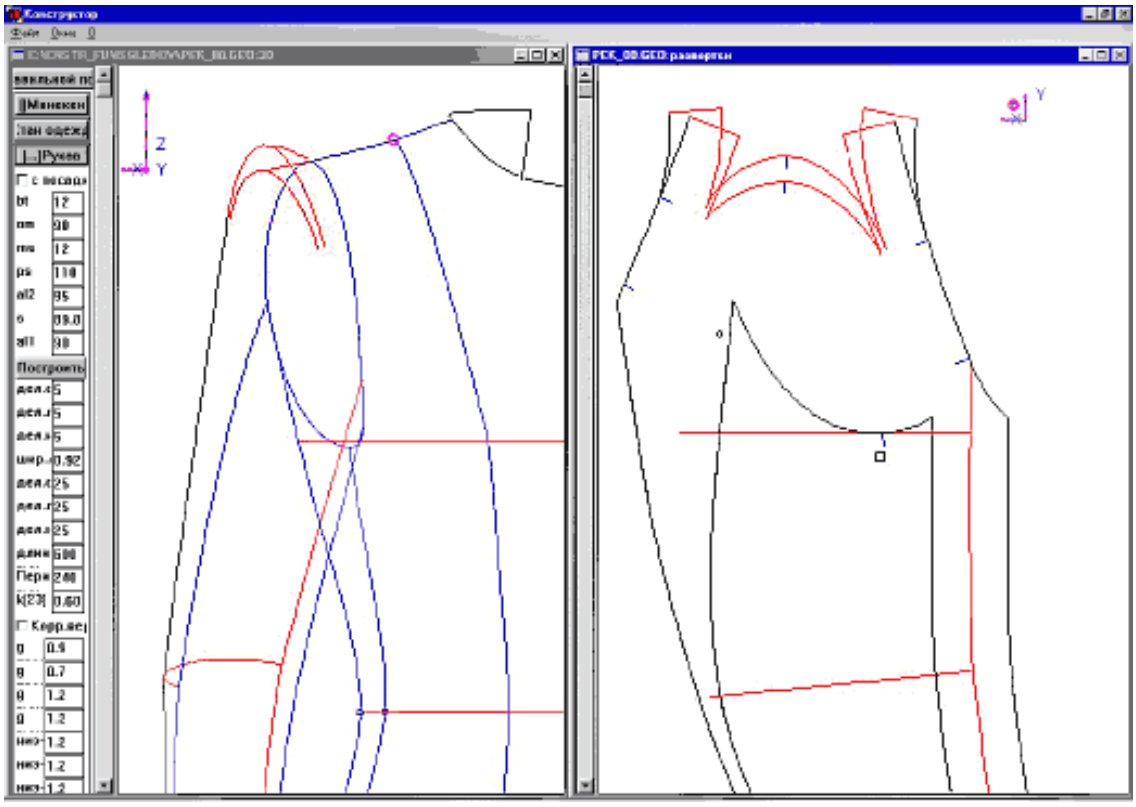


Рис. 6. Проектирование объемной модели одежды в 3D-СТАПРИМ.

Таким образом, использование технологий трехмерного проектирования открывает перспективы в решении задач конструирования и художественного оформления одежды, тем самым обеспечивая новые технологические возможности в эволюции автоматизированных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Короткова И. В. Обзор швейных САПР (возникновение и развитие) / И. В. Короткова, С. В. Мелкова // Швейная промышленность. – 2002. – № 5. – С. 40–42.
2. Шечунь Ло. Анализ возможностей системы [ТС]^2 для измерения размерных признаков фигур и построения чертежей конструкций / Ло Шечунь, В. Е. Кузьмичев // Швейная промышленность. – 2004. – № 6. – С. 30–33.
3. Колосніченко М. В. Комп'ютерне проектування одягу : навчальній посібник / М. В. Колосніченко, В. Ю. Щербань, К. Л. Процик. – К. : Освіта України, 2010. – 236 с.
4. Построение базовых конструкций лекал [Электронный ресурс] // САПР для швейной промышленности. – 2011. – Режим доступа : http://www.comtense.ru/soft/soft.php?page=design3d.