

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
АВТОНОМНОЙ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«КРЫМСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
КРЫМСКОГО ИНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск 24

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Симферополь

2010

*Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации выдано
Государственным комитетом телевидения и радиовещания Украины 12.01.2006 г.
Серия КВ № 10833.*

Сборник включен в перечень научных специальных изданий.
Постановление президиума ВАК Украины № 1-05/2 от 10.03.2010 г.

Редакционная коллегия:

Якубов Ф. Я., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Узбекистана, заслуженный работник народного образования Украины (главный редактор)
Кропотова Н. В., к.х.н., доцент, проректор по научной работе (зам. главного редактора)
Абдулгасис У. А., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники АРК (зам. главного редактора)
Бабицкий Л. Ф., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники АРК
Подригало М. А., д.т.н., профессор
Шмигальский В. Н., д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины
Полянский А. С., д.т.н., профессор
Волков В. П., д.т.н., профессор

Фазылова А. Р. (ответственный редактор)

Печатается по решению Ученого совета Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет». Протокол № 1 от 31.08.2010 г.

Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 24. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2010. – 86 с.

В сборник включены статьи по инженерно-техническим направлениям научно-исследовательской деятельности, подготовленные профессорско-преподавательским составом, научными работниками, аспирантами и студентами Крымского инженерно-педагогического университета, а также других вузов.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Друкується за рішенням Вченої ради Республіканського вищого навчального закладу «Кримський інженерно-педагогічний університет». Протокол № 1 от 31.08.2010 р.

Вчені записки Кримського інженерно-педагогічного університету. Випуск 24. Технічні науки. – Сімферополь : НіЦ КІПУ, 2010. – 86 с.

У збірник вміщено статті з інженерно-технічних напрямів науково-дослідної діяльності, які підготовлені професорсько-викладацьким складом, науковцями, аспірантами, студентами Кримського інженерно-педагогічного університету, а також інших ВНЗ.

Для науковців, викладачів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Якубов Ф. Я., Ким В. А. Структурно-энергетические основы упрочнения материалов.....	4
Абдулгасис Д. У., Якубов Ч. Ф. Возможности минимизированной подачи к режущим кромкам сверла масляных СОТС с эндотермическим эффектом.....	10
Доброскок В. Л., Абдурайимов Л. Н., Чернышов С. И. Рациональная ориентация изделий при их послойном формообразовании на базе исходной триангуляционной 3D модели.....	13
Иззетов Н. А., Османов Э. Р. Пути повышения точности и производительности финишной обработки глубоких отверстий.....	21
Падерин В. Н., Хачикова И. С. Способ литья под давлением в вакууме с двумя камерами прессования.....	25
Усеинов Б. К. Обеспечение равномерного давления инструмента на обрабатываемую поверхность при хонинговании отверстий.....	30

Раздел 2. АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Артемов Н. П., Лебедев А. Т., Алексеев О. П., Волков В. П., Подригало М. А., Полянский А. С. Метод парциальных ускорений и его применение при исследовании динамики мобильных машин (в порядке обсуждения).....	33
Подзноев Г. П., Абдулгасис У. А. Особенности темодинамического цикла двухтактного H-дизеля с использованием алюмогидридного энергоносителя и пероксида водорода.....	36
Менумеров Э. Р., Якубов Ч. Ф. Повышение антиокислительной стойкости смазочных технологических сред растительной природы путем их химической модификации.....	41
Подригало М. А., Байцур М. В. Определение удельной мощности двигателя автомобиля по условиям скоростного и динамического режимов движения.....	45
Подригало М. А., Абдулгасис А. У., Клец Д. М. Модель контакта неподвижного автомобильного колеса с дорогой.....	50
Шелудченко В. В. Аналіз особливостей експлуатації, які впливають на керуваність та стійкість руху автомобілів з АБС.....	55
Эреджепов М. К. Из опыта определения технического состояния электростартерной системы пуска мотортестером, без снятия электростартера с ДВС.....	58

Раздел 3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Бабицкий Л. Ф., Мищук С. А. Обоснование технологии упрочнения зубчатых ножей почвообрабатывающих машин.....	65
Бекиров Л. Р., Бекиров Р. Н. Технология сельскохозяйственных работ в структурно-логических схемах.....	68
Бекиров Р. Н. Динамика изменения величины капель распыливаемой струи у вентиляторных опрыскивателей.....	72

Раздел 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Билялова Л. Р., Ситшаева З. З., Билялова Э. В. Оптимизация структуры системы сотовой связи с учетом параметров электромагнитного излучения.....	76
Большаков А. П., Абдулгасис У. А. Патентные исследования в конкурентном соперничестве.....	79

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.891:620.192.4

Якубов Ф. Я., Ким В. А.

СТРУКТУРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

У представленій статті розглянуто та оцінено внесок різних структурних чинників у зміцнення, необхідних для зсуву дислокацій в ідеальному кристалі, домішкових атомів, дисперсних частинок, розмірів і меж зерен, розвитку дислокацій і дисклінацій. Єдність усіх механічних тривких характеристик ($\sigma_{вр}$, $\sigma_{вс}$, $\tau_{ср}$ тощо) полягає у тому, що вони відображають внутрішній енергетичний стан твердого тіла, а невідповідність їх чисельних величин пояснюється різницею в об'ємах розповсюдження роботи пластичної деформації.

Ключові слова: тривкість, деформаційне зміцнення, зносостійкість, дефекти кристалічної будови, домішкові атоми, дислокації, дисперсні частки, субструктура.

В представленной статье рассмотрен и оценен вклад различных структурных факторов в упрочнение, необходимых для сдвига дислокаций в идеальном кристалле, примесных атомов, дисперсных частиц, размеров и границ зёрен, развития дислокаций и дисклинаций. Единство всех механических прочностных характеристик ($\sigma_{вр}$, $\sigma_{вс}$, $\tau_{ср}$ и др.) заключается в том, что они отображают внутреннее энергетическое состояние твердого тела, а несоответствие их численных величин объясняется различием в объемах распространения работы пластической деформации.

Ключевые слова: прочность, деформационное упрочнение, износостойкость, дефекты кристаллического строения, примесные атомы, дислокации, дисперсные частицы, субструктура.

In this article reviewed and evaluated the contribution of various structural factors in the hardening required for shear dislocations in a perfect crystal, impurity atoms dispersed particle size and grain boundaries of dislocations and disclinations. The combination of all mechanic durable features ($\sigma_{вр}$, $\sigma_{вс}$, $\tau_{ср}$) is in that they reflect their internal energetic state of solid object, but irrelatively of the numeric value is proved be diversity in range of work-spread of plastic deformation.

Key words: strength, deformation hardening, wearability, defects of crystal structure, mixed atoms, dislocation, dispersed particles, substructure.

Постановка проблеми. Обеспечение качества и производительности механической обработки металлов концентрируется вокруг ряда проблем, которые в научном и техническом плане продолжают оставаться злободневными. К этим проблемам в первую очередь можно отнести повышение общего уровня прочности, стойкости и надежности металлорежущего инструмента.

Анализ литературы. Прочность как сопротивляемость материала формоизменению и разрушению под действием внешних механических, тепловых, химико-окислительных, электрических и других воздействий является комплексным понятием и отображается системой независимых и взаимосвязанных показателей [1–6].

К ним, в частности, относят предел текучести, предел прочности при растяжении и сжатии, предел выносливости, ударную вязкость, температуру вязкоупругого перехода, относительное удлинение при разрыве, твердость и др. Перечисленные характеристики не исчерпывают все многообразие служебных прочностных тре-

бований, а отражают поведение материала в определенных, как правило, упрощенных схемах механического нагружения. Они не всегда в достаточной мере обеспечивают свойства материала в эксплуатационных условиях, но, тем не менее, на основе этих характеристик осуществляется выбор материала.

Цель статьи – раскрыть механизм и установление структурно-энергетических основ упрочнения материалов.

Изложение основного материала. Практически все удельные прочностные механические характеристики отображают работу разрушения материала в определенных схемах нагружения. Так, при испытании материала на растяжении работа разрушения определяется по формуле:

$$A = \int_0^{\Delta L_{кр}} \sigma S \times dL \approx \sigma_{вр} S \times \Delta L_{кр}, \quad (1)$$

где $\sigma_{вр}$ – предел прочности на растяжение;

S – площадь поперечного сечения образца;

$\Delta L_{кр}$ – абсолютное удлинение образца, предшествующее разрушению.

Удельную работу разрушения можно рассчитать по формуле:

$$a_{уд} = \frac{A}{S\Delta L_{кр}} \approx \sigma_{вр} \quad (2)$$

Аналогичные рассуждения приводят к тому, что удельная работа разрушения при сжатии адекватна пределу прочности на сжатие ($a_{уд} \approx \sigma_{вс}$), а при срезе – пределу прочности на срез ($a_{уд} \approx \tau_{ср}$).

Подобные зависимости можно получить для всех видов разрушения. Повышение одной из прочностных характеристик приводит к адекватному увеличению других, указывая на существование тесной взаимосвязи между ними. Единство всех механических прочностных характеристик заключается в том, что они в большей или меньшей степени отображают внутреннее энергетическое состояние твердого тела, а несоответствие их численных величин, выражаемых через $\sigma_{вр}$, $\sigma_{вс}$, $\tau_{ср}$ и др., определенных в различных схемах разрушения, может быть объяснено различием в объемах распространения сопутствующей работы пластической деформации. Действительно, при одной и той же площади поперечного сечения образца в случае растяжения объем распространения пластической деформации приходится на «шейку» или зону неоднородной и неустойчивой пластической деформации, при сжатии – на всю длину образца, а при срезе – на узкую зону, примыкающую к плоскости среза, толщиной несколько десятков микрон.

Сопrotивляемость материала различным разрушающим воздействиям обеспечивается определенным набором структурных свойств, изменяя которые можно целенаправленно управлять прочностью. Под упрочнением понимают любые структурные изменения, происходящие в материале при воздействии на него энергетическими потоками различной природы и приводящие к повышению прочностных свойств. Однако повышение отдельных прочностных характеристик не означает обеспечение высоких эксплуатационных свойств во всех возможных схемах нагружения. Так, рост твердости металлических материалов повышает предел прочности растяжения и сжатия, но снижает усталостные свойства. Увеличение предела выносливости связывают с повышением пластичности и снижением твердости. Обеспечение износостойкости требует соблюдение строгих соотношений упругопластических свойств материала.

Например, сопротивляемость абразивному и адгезионному изнашиванию коррелирует с твердостью и пределом прочности [7; 8]. При водородном, окислительном, кавитационном и диффузионном изнашивании эксплуатационные

свойства материала слабо связаны с прочностными характеристиками [9; 10].

На рис. 1 представлена обобщенная зависимость упругих и пластических свойств материала. Повышение прочности всегда сопровождается снижением пластичности и ухудшением обрабатываемости. Идеальный конструкционный материал должен обладать высокой прочностью и хорошей обрабатываемостью.

На рисунке такому материалу соответствует правая верхняя заштрихованная область относительно обобщенной зависимости.

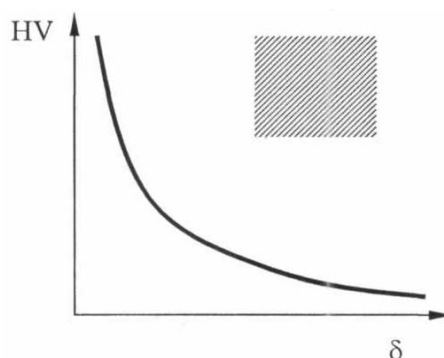


Рис. 1. Обобщенная зависимость упругих и пластических свойств материала.

Большинство металлических материалов, используемых в быту и производстве, представляет поликристаллические гетерогенные системы на основе твердых растворов внедрения и замещения с различной степенью стабильности. Поликристаллы обладают развитой системой межфазных, межзеренных и субзеренных границ. В составляющих поликристаллическую систему фазах всегда присутствуют дефекты кристаллического строения, распределение и концентрация которых находится в тесной взаимосвязи с наличием атомов легирующих элементов и примесей.

Совокупность перечисленных составляющих образует структуру материала, а различные их комбинации отвечают различным структурным состояниям сплава и определяют тот или иной набор структурно чувствительных характеристик, присущих материалу в определенном структурном состоянии.

Вклад различных структурных факторов в упрочнение в предположении аддитивности влияния отдельных механизмов на примере повышения предела текучести может быть представлен следующей зависимостью

$$\sigma_T = \sigma_{то} + \Delta\sigma_{тв.р.} + \Delta\sigma_{дч} + \Delta\sigma_{дисл.} + \Delta\sigma_{гр.з.} + \sigma_{суб.з.} \quad (3)$$

где $\sigma_{то}$ – напряжения Пайерлса-Набарро;

$\Delta\sigma_{тв.р.}$ – упрочнение, обусловленное растворением примесных атомов по механизмам внедрения и замещения;

$\Delta\sigma_{дч}$ – упрочнение дисперсными частицами;

$\Delta\sigma_{\text{дисл.}}$ – упрочнение за счет развития дислокаций и дисклинаций;

$\Delta\sigma_{\text{гр.з.}}$ – зернограничное упрочнение;

$\sigma_{\text{суб.з.}}$ – субзеренное упрочнение.

Все слагаемые выражения (3) раскрывают роль различных дефектов кристаллического строения. Так, $\Delta\sigma_{\text{тв.р.}}$ определяется плотностью точечных дефектов, $\Delta\sigma_{\text{дисл.}}$ – плотностью линейных дефектов, $\Delta\sigma_{\text{гр.з.}}$ и $\sigma_{\text{суб.з.}}$ отражают влияние поверхностных дефектов, а $\Delta\sigma_{\text{дч}}$ – объемных дефектов кристаллического строения.

Напряжение Пайерлса-Набарро представляет минимальное (критическое) касательное напряжение необходимое для сдвига дислокации в кристалле, в котором отсутствуют другие дефекты. Напряжение Пайерлса-Набарро в модельном представлении описывается формулой:

$$\sigma_{\text{то}} = \frac{2G}{1-\mu} \exp\left(-\frac{2\pi}{1-\mu} \times \frac{d}{b}\right), \quad (4)$$

где G – модуль упругости при сдвиге;

μ – коэффициент Пуассона;

d – расстояние между соседними атомарными плоскостями;

b – межатомное расстояние в направлении скольжения равно вектору Бюргерса.

С увеличением расстояния между соседними атомарными плоскостями и уменьшением межатомного расстояния в направлении скольжения напряжение Пайерлса-Набарро снижается. Для плоскостей и направлений с плотнейшей упаковкой соотношение d/b обычно наибольшее, и по этим направлениям обычно происходит скольжение.

Упрочнение, обусловленное растворением примесных атомов внедрения и замещения, определяется процессами торможения дислокаций точечными дефектами кристаллического строения. Результатом такого взаимодействия является направленная диффузия примесных атомов в поле напряжений, создаваемых дислокациями, что приводит к неравномерному распределению атомов примеси в кристаллической структуре основного металла. Различают четыре варианта взаимодействия дислокаций с примесными атомами:

- упругое взаимодействие первого рода (размерное взаимодействие);
- упругое взаимодействие второго рода (взаимодействие по модулю упругости);
- химическое взаимодействие;
- электрическое (кулоновское) взаимодействие.

Так как каждый вид взаимодействия зависит от природы межатомных связей в кристалле, характера примесей и других факторов, то преобладающим может оказаться один из перечисленных типов взаимодействия или их совокупность.

Упругое взаимодействие первого рода связано с наличием поля упругих напряжений вокруг дислокации и вокруг примесного атома. Знак напряжения вокруг атома примеси зависит от соотношения атомарных радиусов элемента основы (r_0) и примеси (r). В растворах замещения атомы с радиусом $r < r_0$ замещают атомы основы и будут стремиться в сжатую область вокруг дислокаций. Внедренные атомы, а также атомы примеси с радиусом $r > r_0$, замещающие атомы основы в растворе, будут притягиваться растянутой областью дислокаций.

Облака примесных атомов закрепляют дислокацию и называются облаками Коттрелла. Роль облаков Коттрелла особенно велика в металлах, содержащих такие примеси внедрения как углерод и азот.

Упругое взаимодействие второго рода обусловлено тем, что примесные атомы или вакансии представляют собой малую область с иными упругими постоянными, чем у матрицы. Поэтому работа, затрачиваемая при движении дислокаций, отличается от работы, обусловленной обычным упругим взаимодействием. С понижением радиуса примесного атома энергия взаимодействия по модулю упругости возрастает, достигая максимальной величины при взаимодействии с вакансией. Взаимодействие второго рода вызывает увеличение концентрации вакансий вокруг дислокации и проявляется только на очень малых расстояниях.

Химическое взаимодействие возникает при наличии расщепленных дислокаций. В этом случае попадание примесного атома на дефект упаковки меняет в месте контакта электронную структуру металла, а, следовательно, и характер межатомной связи. Эти изменения могут приводить к уменьшению удельной энергии упаковки и увеличению расщепления, что создает энергетически выгодные условия для диффузии атомов примеси к дефекту упаковки. Повышение содержания примесей в слое дефекта упаковки называется атмосферой Судзуки. При образовании атмосферы Судзуки энергия дислокации уменьшается, что также способствует ее закреплению.

Электрическое взаимодействие проявляется только в некоторых кристаллических структурах и заключается в следующем. При «суммировании» двух простых дислокаций может создаваться комбинация сложных дислокаций, важной особенностью которых является наличие разорванных связей на краю экстраплоскости. Существование дислокаций с оборванными связями характерно для полупроводниковых и ионных кристаллов. В этом случае оборванные связи в дислокациях выступают как акцепторы, за-

хватывающие электроны проводимости и тем самым создающие кулоновское взаимодействие между дислокациями и положительными иона-

ми. Численные значения энергий взаимодействия дислокаций с точечными дефектами приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Энергия взаимодействия дислокаций с примесными атомами.

Тип взаимодействия	Расчетная формула	Средние значения, эВ	Вид дефекта
1. Упругое взаимодействие первого рода	$E_1 = \alpha G b r_0^3 \left(\frac{\Delta r}{r_0} \right) \sin \left(\frac{\theta}{r} \right)$	0,2...0,5 0,05...0,1 0,1	Межузельные атомы Атомы замещения Вакансии
2. Упругое взаимодействие второго рода	$E_2 = \Delta G \left(\frac{b^2}{r^2} \right)$	0,05...0,2	
3. Химическое взаимодействие	$E_3 = D b^2 \left(5 + \ln \frac{r \gamma}{D b^2} \right)$	0,05...0,1	
4. Электрическое взаимодействие	$E_4 = f \frac{e^2}{a}$	0,02	

Упрочнение дисперсными частицами второй фазы играет важную роль в повышении прочности, особенно дисперсно-твердеющих сплавов. Выделяют несколько моделей торможения дислокаций дисперсными частицами. Если расстояние между частицами второй фазы достаточно велико, то дислокация под действием касательных напряжений от приложенной нагрузки выгибается между ними, принимая волнообразную форму, а затем преодолевает частицы по механизму, сходному с процессом размножения дислокаций по модели Франка-Рида (рис. 2).

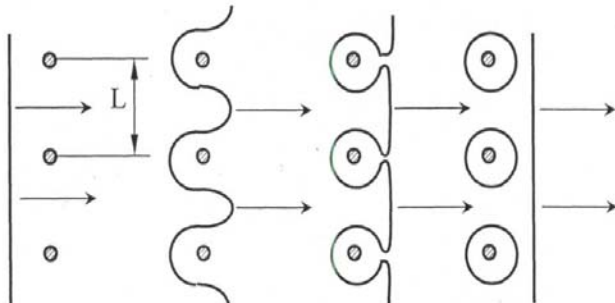


Рис. 2. Схема обхода частиц дислокациями в плоскости скольжения по Оровану.

Дислокация, проходя между дисперсными частицами, оставляет вокруг каждой из них дислокационное кольцо, при этом суммарная длина всех дислокаций возрастает, и в соответствии с

этим увеличивается суммарная энергия дислокаций.

Повышение предела текучести за счет взаимодействия дислокаций с дисперсными частицами второй фазы описывается уравнением Орована:

$$\Delta \sigma_{д.ч.} = 0,25 \left(1 + \frac{1}{1-\mu} \right) \frac{G b}{\pi L} \ln \left(\frac{L}{2b} \right), \quad (5)$$

где L – среднее расстояние между дисперсными частицами.

При наличии крупных дисперсных включений реализуется механизм обхода некогерентных частиц второй фазы, который заключается в поперечном скольжении, а при повышенных температурах – переползании (рис. 3). Локальное поперечное скольжение начинается после того, как скользящая дислокация, выгибаясь между частицами второй фазы, образует винтовые сегменты (см. рис. 3а). Эти сегменты могут совершать двойное поперечное скольжение, переходя в новую плоскость скольжения для обхода частицы и затем возвращаясь в плоскость, параллельную исходной (участки типа 1–2 на рис. 3б). Винтовые сегменты, имея разный знак, выгибаются навстречу один другому (рис. 3в) и аннигилируют, оставляя позади частиц призматическую петлю и образуя двойную ступеньку на продолжающей скользить дислокации (рис. 3г).

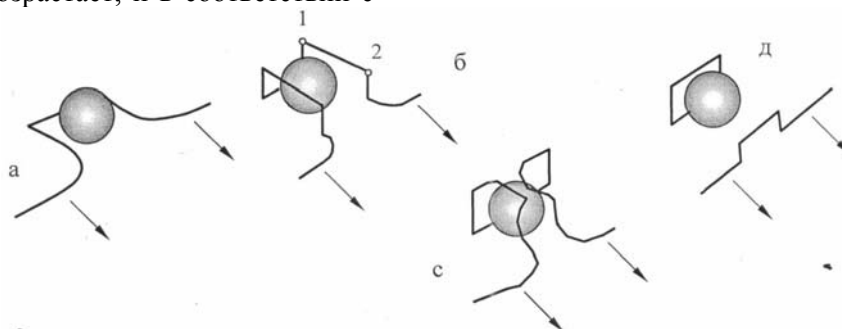


Рис. 3. Стадии локального поперечного скольжения при обходе дислокацией частиц второй фазы.

С уменьшением расстояния между частицами в соответствии с формулой (5) возрастает напряжение, необходимое для проталкивания между ними дислокаций, и может наступить

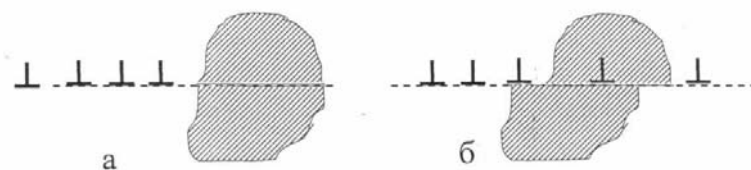


Рис. 4. Схема перерезания дисперсной частицы скользящей дислокацией.

Из-за того, что решетка частицы отличается от решетки матрицы, скользящая в матрице дислокация при вхождении в решетку частицы создает в ней сильное нарушение упаковки атомов вдоль плоскости сдвига. Частица сдвигается на величину вектора Бюргера дислокации матрицы, который отличается от вектора трансляции решетки частицы. В результате внутри частицы возникают высокоэнергетические поверхности раздела, что является одной из причин торможения дислокаций.

Другая причина торможения дислокаций связана с увеличением поверхности раздела между матрицей и перерезанной частицей, на поверхности которой появляются ступеньки (см. рис. 4). Величина упрочнения за счет полукогерентных частиц и зон типа Гинье-Престона может быть оценена по выражению:

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta G}{4\pi} \times \frac{d}{L}. \quad (6)$$

Еще одной причиной торможения дислокаций является наличие в матрице дальнедействующих полей упругих напряжений вокруг частиц. Такие напряжения возникают из-за разности в удельных объемах частиц и матрицы, из которой выделяется частица. Если выделение когерентно матрице, упругие деформации обеспечивают плавное сопряжение решеток с разными параметрами.

При повышении плотности свободных (решеточных) дислокаций в результате холодного или горячего наклепа прочность матрицы возрастает из-за появления неориентированных полей напряжений вокруг скопления дислокаций, их переплетения и блокировки действующих плоскостей скольжения, пересечения дислокаций границами двойников, дефектами упаковки, закреплением их вторыми фазами, наведенными пластической деформацией. При взаимодействии двух дислокаций с перпендикулярными векторами Бюргера образуется так называемая «сидячая» дислокация, обладающая высокой устойчивостью и низкой подвижностью. Совокупность таких дислокаций образует «лес дислока-

ций», который вносит значительный вклад в повышение предела текучести. Даже при низкой плотности дислокаций ($\rho = 10^8 \dots 10^9 \text{ см}^{-2}$) вклад «леса дислокаций» в упрочнение соизмерим с вкладом границ зерен при из размерах порядка 40...50 мкм. С увеличением плотности дислокаций роль «леса дислокаций» в упрочнение возрастает. Упрочнение за счет развития свободных дислокаций можно оценить выражением:

$$\Delta\sigma = \alpha G b \sqrt{\rho}, \quad (7)$$

где $\alpha \approx 0,5$

Большеугловые границы зерен, являясь структурными двумерными дефектами, тормозят скольжение дислокаций, хотя одновременно являются и их источником. Решеточная дислокация, захваченная границей зерна и обладающая дальнедействующим полем напряжений, упруго отталкивает приближающуюся к ней другую решеточную дислокацию. Каждая следующая дислокация тормозится результирующим полем напряжений от ранее заблокированных дислокаций и поэтому сама останавливается на более далеком расстоянии от границы. Вклад в упрочнение большеугловых границ удовлетворительно описывается соотношением Холла-Петча:

$$\Delta\sigma_{\text{гр.з.}} = \frac{K_1}{\sqrt{D}}, \quad (8)$$

где D – средний размер зерна.

При наличии субструктуры границы субзерен оказывают блокирующий эффект аналогичный межзеренным границам. Вклад этого механизма в упрочнение определяется зависимостью Ленгфорда-Козна:

$$\Delta\sigma_{\text{суб.з.}} = \frac{K_2}{D^n}, \quad (9)$$

где D – средний размер субзерна;

n – показатель степени, зависящий от материала и типа субструктуры.

Полигональные субграницы с малой разориентировкой в ряде случаев могут иметь для упрочнения большее значение, чем большеугловые, однако их образование связано со снижени-

ем плотности решеточных дислокаций, которые, komponуясь в стенки, обеспечивают переход от сплетенной дислокационной структуры клубкового типа к ячеистой и полигональной. При увеличении разориентировки влияние субграниц на прочность усиливается.

Итак, упрочнение металлов связывается с процессом наведения и взаимодействия в структуре различных дефектов кристаллического строения. Академиком А.А. Бочваром предложена обобщенная зависимость прочности металлов от плотности несовершенств их кристаллического строения. При отсутствии дефектов кристаллического строения прочность металла должна равняться теоретической, которая для процесса среза составляет

$$\sigma_{\max} = \frac{G}{2\pi}. \quad (10)$$

При появлении в кристалле несовершенств его прочность резко падает, достигая минимума, после которой вновь возрастает. Повышение прочности с увеличением плотности дефектов кристаллического строения начинается только тогда, когда между несовершенствами начинает проявляться взаимодействие. Все практически реализуемые технологии упрочнения располагаются на возрастающем участке обобщенной кривой.

Структурно-энергетический подход к оценке состояния металлических материалов подтверждает наличие корреляции между уровнем прочности и энергоемкостью кристаллической структуры. Любое несовершенство кристаллического строения рассматривается как аккумулятор упругой внутренней энергии, поэтому повышение плотности дефектов кристаллического строения приводит к увеличению внутренней энергии материала.

В деформационных технологиях упрочнения главная роль в обеспечении прочностных свойств отводится линейным дефектам кристаллического строения (дислокациям), а в технологиях легирования и модифицирования - взаимодействию дислокаций с точечными дефектами и дисперсными выделениями. Эксплуатационные прочностные свойства материала определяются не только плотностью дефектов кристаллического строения, но и их силовой и термической устойчивостью. Повышение термической и термомеханической стабильности достигается наведением высокоэнергетических линейных дефектов кристаллического строения, закрепленных посредством их взаимной блокировки в специальных дислокационных конфигурациях, взаимодействующих с ноль-мерными несовершенствами, дисперсными и дисперсионными выделениями [11; 12].

Устойчивость дислокационных конфигураций определяется степенью уравновешенности в микроструктуре полей дальнедействующих упругих напряжений. Наибольшей устойчивостью характеризуются дислокации, организованнее в субграницы и заблокированные растворенными атомами и сегрегациями. Затем следуют дислокации, заторможенные точечными дефектами и частицами дисперсных фаз. Наименьшей устойчивостью обладают плоские скопления дислокаций и индивидуальные дислокации внутри зерен [11–13].

Взаимодействие дислокаций между собой и точечными дефектами подчиняется фундаментальному термодинамическому принципу – стремлению системы к состоянию минимума свободной энергии. Энергия взаимодействия дислокаций с точечными несовершенствами кристаллического строения частично компенсирует энергию искажения кристаллической решетки, понижая свободную энергию всей микроструктурной системы. Уменьшение свободной энергии подчиняется термодинамическому соотношению:

$$\Delta F = \Delta U - E_f, \quad (11)$$

где ΔF – изменение свободной энергии;
 ΔU – изменение упругой энергии за счет наведения дислокаций;
 E_f – энергии взаимодействия дислокаций с дефектами кристаллического строения.

Из (11) следует – чем больше энергия взаимодействия, тем ниже свободная энергия и более устойчива дислокационная структура. Взаимодействие дислокаций с дефектами кристаллического строения повышает их устойчивость. Скорость скольжения дислокации в общем случае описывается уравнением

$$v = v_0 \exp\left(\frac{U_0 + E_f - \gamma\tau}{kT}\right), \quad (12)$$

где v_0 – постоянная скорость, равная примерно одной десятой скорости звука;
 U_0 – энергия активации движения дислокации;
 E_f – энергия взаимодействия дислокации с другими дефектами кристалла;
 γ – постоянная, зависящая от типа кристаллической решетки;
 τ – действующее касательное напряжение.

С повышением энергии взаимодействия E_f возрастает приведенная энергия активации, что приводит к снижению скорости скольжения.

Вывод. Любой вид упрочнения металлов можно свести к единому процессу взаимодействия энергетических потоков какой-либо природы с материалом, инициирующих в нем структурные изменения, связанные с повышением плотности дефектов кристаллического строения.

Все известные на сегодняшний день энергетические воздействия были апробированы на предмет упрочнения, из которых многие реализовались в промышленных технологиях.

Степень упрочнения и эксплуатационные свойства образованных структур определяются величиной поглощенной внутренней энергии и стабильностью структурно-энергетических параметров материалу в процессе эксплуатации.

При совместном воздействии энергетического потока и потока активного вещества последние, вступая в физико-химическое взаимодействие с упрочняемым материалом, дополнительно повышают структурно-энергетические параметры модифицируемого материала внесением свободной энергии самим активным веществом и поглощением внутренней энергии за счет реакций смешения и образования новых соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамсон А. Физическая химия поверхности / А. Адамсон. – М. : Мир, 1974. – 568 с.
2. Бахарев М. С. Структура и прочность материалов при лазерных воздействиях / М. С. Бахарев, Л. И. Миркин. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – 224 с.
3. Журков С. Н. Кинетическая концепция прочности / С. Н. Журков // Вестник АН СССР. – 1968. – № 3. – С. 46–52.
4. Новиков И. И. Термодинамические аспекты пластического деформирования и разрушения металлов И. И. Новиков // Физико-механические и теплофизические свойства металлов. – М. : Наука, 1976. – С. 170–179.
5. Нотт Дж. Основы механики разрушения / Дж. Нотт. – М. : Metallurgia, 1978. – 256 с.
6. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов : в 2-х томах / Я. Б. Фридман. – [3-е изд., доп. и перераб.]. – М., 1974. – Т. 1. – 800 с.
7. Хрущев М. М. Исследование изнашивания металлов / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 352 с.
8. Кашеев В. Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов / В. Н. Кашеев. – М. : Машиностроение, 1978. – 213 с.
9. Гаркунов Д. Н. Триботехника / Д. Н. Гаркунов. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.
10. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. – М. : Машиностроение, 1982. – 320 с.
11. Гордиенко Л. К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов / Л. К. Гордиенко. – М. : Наука, 1973. – 224 с.
12. Роль дислокаций в процессах упрочнения и разрушения металлов / [В. С. Иванова, Л. К. Гордиенко, В. Н. Геминев и др.]. – М. : Наука, 1967. – 180 с.
13. Физическая мехомеханика и компьютерное моделирование материалов : в 2 томах / [В. Е. Панин, В. Е. Егорушкин, П. В. Макаров и др.]. – Новосибирск : Наука, 1995. – Т. 1. – 298 с. – Т. 2. – 320 с.

УДК 621.924.4

Абдулгазис Д. У., Якубов Ч. Ф.

ВОЗМОЖНОСТИ МИНИМИЗИРОВАННОЙ ПОДАЧИ К РЕЖУЩИМ КРОМКАМ СВЕРЛА МАСЛЯНЫХ СОТС С ЭНДОТЕРМИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ

Пропонується схема внутрішньої мінімізованої подачі до ріжучих кромок свердла олійних масляно-охолоджуючих технологічних засобів з присадками, які забезпечує додатковий ендотермічний ефект.

Ключові слова: олійні МОТЗ, мінімізована подача, ріжучі кромки свердла.

Предлагается схема внутренней минимизированной подачи к режущим кромкам сверла масляных СОТС с присадками, обеспечивающими дополнительный эндотермический эффект.

Ключевые слова: масляные СОТС, минимизированная подача, режущие кромки сверла.

Suggests scheme of the internal minimized serve to the cutting edges of drill of oils lubricating-cooling technology means with additives providing an additional endothermic effect.

Key words: oily LCTM, minimized serve, cutting edges of drill.

Постановка проблемы. Эксперименты по оценке эффективности масляных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) растительного и минерального происхождения с присадками, обеспечивающими эндотермический эффект, подтвердили [1; 2] существенное улучшение показателей отвода тепла от лезвия режущего инструмента. Но наряду с положи-

тельным результатом, обеспечиваемым присадками к масляным СОТС в виде кристаллогидратов, обозначилась проблема ее длительной устойчивости как эмульсии (масло + кристаллогидрат).

Кристаллогидраты (соли) поставляются для промышленности и быта как достаточно крупнодисперсные порошки. Относительно высокая

их плотность в сравнении с плотностью растительных и минеральных масел, способствует расслоению СОТС как эмульсии. Это обстоятельство делает затруднительным использование для масляных СОТС присадок из кристаллогидратов без их диспергирования.

Присадки, обеспечивая эндотермический эффект, позволяют значительно уменьшить расход масляной СОТС порождает проблему ее подачи к режущим кромкам сверла. Тем более если необходимо выдерживать условия минимизации подачи СОТС.

Анализ литературы. Производственный опыт показывает, что если при обработке некоторых конструкционных материалов, например, серых чугунов, можно в широком диапазоне режимов обработки реализовать полностью «сухое» резание, то при таких операциях как сверление, развертывание и резьбонарезание по алюминевым и магниевым сплавам для обеспечения надежности протекания процесса необходима дозированная подача СОТС. В противном случае, из-за забивания стружечных каналов существует высокая вероятность образования наростов, снижающих качество изделия и поломки инструмента.

Решением этой проблемы считают [3] дозированный подвод смазывающей среды. При дозированной подаче СОТС – это подвод воздушно-масляной смеси (аэрозоля).

В настоящее время совершенствуются и внедряются устройства и технологии, нацеленные на основательное уменьшение расхода традиционных СОТС. Конструкции современных систем позволяют подавать СОТС в минимально необходимом количестве, определяемом в каждом конкретном случае индивидуально. Эти устройства конструируются на основе трех основных принципов: оптимальном дозировании, целенаправленной подаче и качественной подготовке воздушно-масляной смеси [3].

В качестве смазочного материала в зависимости от типа режущего инструмента успешно применяются экологически безвредные растительные масла и спирты жирного ряда. При этом доставку смазочного материала в зону резания осуществляют в виде аэрозоля струей сжатого воздуха путем внешней либо внутренней подачи.

Главным препятствием применения внешней подачи является крайне ограниченная возможность доступа к лезвию режущего инструмента, в особенности при глубоком сверлении. Внутренняя подача масляной СОТС в рабочую зону в виде аэрозоля через тело самого инструмента, в нашем случае сверла, естественно более эффективна, чем внешний подвод.

Чем больше глубина сверления, тем тяжелее условия работы сверла, поскольку усложняется подача свежей СОТС в зону резания, увеличивается продолжительность соприкосновения образовавшейся стружки со стенками формирующегося отверстия [4].

Не смотря на высокие материальные затраты, технология минимального смазывания более осуществима путем внутренней подачи. Она исключает возможность рассеяния подаваемой в зону резания дозы СОТС, а также повышает стойкость инструмента даже на повышенных режимах.

Цель статьи – разработать систему минимизированной внутренней подачи к режущим кромкам сверла масляных СОТС с присадками, обеспечивающими дополнительный эндотермический теплоотвод.

Изложение основного материала. Известные системы внутренней минимизированной подачи масляных СОТС в зависимости от условий формирования воздушно-масляной среды разделяются на две схемы: с образованием смеси «смазочное вещество + воздух» вне вращающегося шпинделя (одноканальная схема) и с отдельным подводом смазочного вещества и воздуха к шпинделю с образованием аэрозоля в непосредственной близости от лезвия инструмента (двухканальная схема). Их принципиальные схемы приводятся в работе [3].

Поскольку сверлильные операции выполняются на относительно малых частотах вращения сверла, чем детали при обработке на токарных станках и в нашем случае не провоцируют эффект расслаивания аэрозолей, нами принята за основу одноканальная схема минимизированной подачи СОТС.

Известна система подачи аэрозолей на режущие кромки сверла, включающая аэрозольный генератор, соединенный впускными патрубками с резервуаром подачи СОТС и магистралью подачи сжатого воздуха, а выпускным патрубком – с внутренними каналами сверла [3]. Она позволяет подавать в зону резания аэрозоль в виде тумана или «спрея» (жидкие частицы в воздухе) с размерами частиц в пределах 0,001–1000 мкм.

Наша задача – ввести в масляный туман еще и твердую компоненту – диспергированный кристаллогидрат – и тем самым усилить теплоотвод от режущих кромок сверла со всеми положительными последствиями. Для решения поставленной задачи в описанную выше систему нами дополнительно вводится вихревая мельница, соединенная с бункером подачи кристаллогидрата (например, пищевой соды) и магистралью сжатого воздуха.

Принципиальная особенность предлагаемой системы – одновременное использование сжатого воздуха в качестве рабочего инструмента для помола кристаллогидрата и средства образования аэрозолей (твердые частицы в воздухе) в вихревой мельнице, а также аэрозольно-эмульсионной смеси (АЭС) с растительным маслом в смесительной камере струйного насоса для подачи образовавшейся композиции под давлением в каналы сверла.

Ниже представлены новые признаки предлагаемой системы:

- снабжение системы подачи АЭС на режущие кромки сверла вихревой мельницей, соединенной с бункером подачи кристалла гидрата и магистралью подачи сжатого воздуха, позволяющей скоростной струей воздуха измельчать кристаллогидрат и образовать из него аэрозоль;

- выполнение аэрозольного генератора в виде струйного насоса, смесительная камера которого соединена с вихревой мельницей и резервуаром подачи растительного масла, позволяющее образовывать АЭС из тонко помолотого кристаллогидрата, воздуха и масла;
- введение во внутрь патрубка подачи масла винтовой ленты обеспечило закручивание выходящей струи масла и эффективное его смешивание со струей смеси твердых частиц тонкого помола кристаллогидрата с воздухом (аэрозолем), за счет этого добиваться однородности состава АЭС.

В результате выше описанных признаков достигается достаточная текучесть смеси по подающим каналам системы, и наиболее эффективное охлаждение режущих кромок сверла. На рис. 1 приведена схема системы подачи АЭС на кромки сверла.

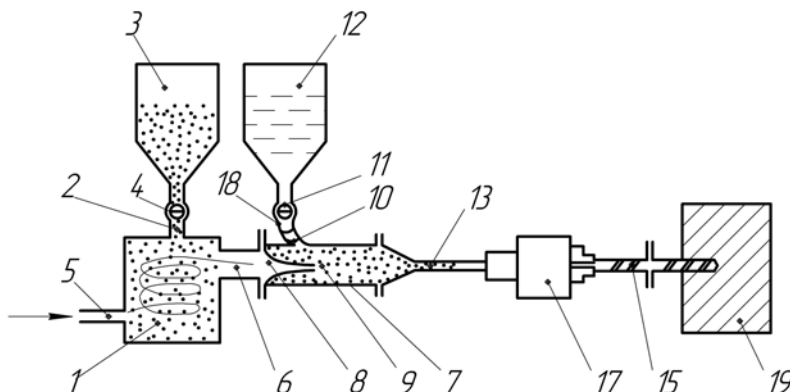


Рис. 1. Система подачи АЭС на кромки сверла.

На рис. 2 показана схема соединения вращающегося сверла с неподвижной камерой подачи АЭС.

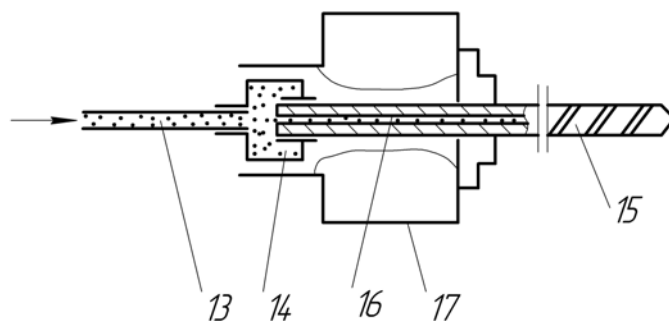


Рис. 2. Сверло с неподвижной камерой подачи АЭС.

Таким образом, представленная нами система подачи АЭС на режущие кромки сверла включает (см. рис. 1) вихревую мельницу 1, которая впускным патрубком соединена с бункером кристаллогидрата 3 через дозатор 4 и патрубок 5 подачи сжатого воздуха. Выпускным патрубком 6 вихревая мельница 1 соединена с аэрозольным генератором 7, выполненном в виде струйного насоса. Он состоит из конического насадка 8, установленного в камере смешивания 9 всасывающего патрубка 10, соединенного че-

рез дозатор 11 с резервуаром растительного масла 12.

Система подачи АЭС на режущие кромки сверла функционирует следующим образом. В вихревую мельницу из бункера через впускной патрубок с дозатором подают кристаллогидрат, а по второму патрубку – сжатый воздух. Вихревыми потоками сжатого воздуха кристаллогидрат измельчается до дисперсности от 1,0 до 10 мкм и в смеси с воздухом с большой скоростью через выпускной патрубок и конический наса-

док поступает в смесительную камеру аэрозольного генератора.

Одновременно из резервуара по патрубку с дозатором в смесительную камеру эжектируется растительное масло, раскручиваемое винтовой лентой, закрепленной на его внутренней поверхности. Вращающаяся струя масла подхватывается скоростным потоком аэрозольной смеси и образует однородную АЭС.

Полученная АЭС под давлением поступает в неподвижную кольцевую камеру (см. рис. 2), концентрично установленную на хвостовике вращающегося сверла, и через каналы в его стержне поступает к его режущим кромкам.

Под действием температуры в зоне сверления высокодисперсный кристаллогидрат дегидратирует с поглощением большого количества теплоты, которая отбирается из зоны резания.

При минимизированной подаче АЭС ее расход составляет 5...10 мл/мин., поэтому стружка удаляется как сухая содержания масла стружки, направляемый на переплавку при правильной наладке подающей системы не превышает допустимого значения 0,3%.

Выводы. Технология минимизированной подачи к режущим кромкам сверла масляных

СОТС с присадками, обеспечивающими дополнительный эндотермический эффект, осуществляема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулгасис Д. У. Использование эндотермического эффекта дегидратации кристаллогидратов для повышения теплоотводящей способности СОТС на основе растительных масел / Д. У. Абдулгасис // Высокие технологии в машиностроении. – Харьков, 2005. – Вып. 2 (11). – С. 3–8.
2. Абдулгасис Д. У. Повышение теплоотводящей способности и устойчивости к окислению СОТС на основе растительных масел / Д. У. Абдулгасис, Ф. Я. Якубов, У. А. Абдулгасис // Резание и инструмент в технологических системах : международный научно-технический сборник НТУ «ХПИ». – Харьков, 2003. – Вып. 65. – С. 3–10.
3. Якубов Ч. Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием : монография / Ч. Ф. Якубов. – Симферополь : ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с.
4. Марков В. В. Повышение эффективности и экологической безопасности лезвийного резания путем применения энергетической активации и оптимизации состава присадок СОТС : дис. ... докт. техн. наук : 05.03.01 / Марков Владимир Викторович. – Иваново, 2004. – 407 с.

УДК 621.7

Доброскок В. Л., Абдурайимов Л. Н., Чернышов С. И.

РАЦИОНАЛЬНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ИХ ПОСЛОЙНОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ НА БАЗЕ ИСХОДНОЙ ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ 3D МОДЕЛИ

Розглянуто підхід раціональної орієнтації виробів у просторі при їхньому пошаровому виготовленні на базі вихідної триангуляційної 3D моделі. Для підвищення точності формоутворення й зменшення припуску під остаточну обробку орієнтація виробів визначається на підставі розрахункових залежностей, що враховують кути, утворені між їхніми складовими поверхнями й напрямком побудови. Приведено приклади застосування пропонованого підходу при побудові виробів технологіями прискореного формоутворення.

Ключові слова: технологія прискореного формоутворення, пошарова побудова, триангуляційна модель, STL-файл.

Рассмотрен подход к рациональной ориентации изделий в пространстве при их послойном изготовлении на базе исходной триангуляционной 3D модели. Для повышения точности формообразования и уменьшения припуска под окончательную обработку ориентация изделий определяется на основании расчетных зависимостей, учитывающих углы, образованные между их составляющими поверхностями и направлением построения. Приведены примеры применения предлагаемого подхода при построении изделий технологиями ускоренного формообразования.

Ключевые слова: технология ускоренного формообразования, послойное построение, триангуляционная модель, STL-файл.

The approach of rational orientation of products in space at their layer-by-layer manufacturing on basis of the initial triangulation 3D model is considered in this article. To improve the accuracy of formation and reduction of allowance for final processing the orientation of items is determined on the basis of theoretical relations, which consider the angles formed between the components of their surfaces and the building direction. Examples of application of the offered approach are given at building products by technology accelerates product formation.

Key words: technology of accelerated formation, layer-by-layer building, triangulation model, STL-file.

Постановка проблемы. Ускоренное формообразование изделий относится к новым технологиям, позволяющим материализовать физические объекты на основе геометрических данных, не прибегая к использованию традиционных инструментов. Основным преимуществом таких технологий является отсутствие принципиальных ограничений на уровень сложности формообразующих поверхностей изделия. Одним из основных требований при изготовлении определенного изделия является наличие информации о поперечных сечениях его модели [1; 2].

Послойные методы формообразования предполагают прямой переход от виртуальной 3D CAD модели к создаваемому объекту. При данных методах 3D CAD модель изделия последовательно рассекается на серию достаточно тонких слоев, обычно $0,025 \div 0,2$ мм толщиной, с некоторым дискретно заданным шагом построения. Толщина слоя определяется технологическими возможностями применяемой установки и требуемой точностью материализации. Точность и эффективность процесса послойного построения изделий зависит не только от толщины создаваемых слоев материала, но и от того, как они располагаются на рабочей платформе установки ускоренного формообразования.

От выбранной ориентации изделия в рабочей камере будет зависеть точность формирования поверхностей, технологическое время изготовления и необходимость использования поддерживающих элементов. Поверхности изделия, наклонные относительно направления построения, будут иметь ступенчатую форму. Более высокая точность изготовления изделий может быть достигнута для поверхностей, перпендикулярных или параллельных направлению построения.

Анализ литературы. Известны методы послойного построения изделий на установках ускоренного формообразования, при которых изготовление ведется путем последовательного неразъемного соединения элементарных слоев объема материала, в качестве которого могут выступать полимер, керамика, бумага, металл и др. [3–12].

Задаче выбора рациональной ориентации изделий на рабочей платформе установки ускоренного формообразования посвящено достаточное количество работ [13–31].

В качестве различных критериев оптимизации выступают такие показатели, как точность, качество поверхности, объем поддерживающих элементов и стоимость изготовления. Часть из них [14; 15; 20–22; 31] относятся к процессам лазерной стереолитографии (SLA), остальные

[13; 23; 25; 29; 30] посвящены процессам избирательного лазерного спекания (SLS), моделирования оплавлением (FDM) и др.

В работе [28] рассматривается подход, при котором этапу построения изделий послойными методами предшествует их предварительная ориентация на рабочей платформе установки. Для этого применяется специальная статистическая модель шероховатости поверхности изделия. Модель построена на базе экспериментальных данных для толщины слоя $h \approx 0,15$ мм (0,006 дюйма) и используется для определения погрешности формы материализованного изделия по триангуляционной STL модели.

Погрешности вычисляются для всех элементов триангуляционной модели, с последующим определением среднего значения шероховатости для всей поверхности изделия. Далее вводится специальная целевая функция, значения которой рассчитываются для различных вариантов ориентации изделия. Минимизация целевой функции осуществляется на основе метода доверительной области (Trust region method [16]) с использованием математического пакета Matlab 6.5.

Существенным недостатком рассмотренного подхода является инкапсулированность вычислительных процедур минимизации целевой функции, а также то, что статистическая модель шероховатости поверхности модели построена для одного значения толщины слоя.

При изменении шага построения модель будет не вполне корректной, а ее применение приведет к возникновению существенных погрешностей построения. Указанные недостатки в совокупности ведут к увеличению технологического времени изготовления изделий за счет необходимости выполнения подготовительных операций, связанных с возможным построением новых статистических моделей, что снижает производительность процесса изготовления изделий в целом.

Цель данной статьи – предложить использование предварительной ориентации изделий при их послойном изготовлении и повышение точности формообразования.

Изложение основного материала. Твердотельные модели в системах 3D CAD моделирования строятся на основе базовых объектов (примитивов), а результирующая поверхность изделия представляет собой их комбинацию на базе булевых операций.

В процессе выполнения исследований была предложена рабочая гипотеза о том, что наиболее высокая достижимая точность формообразования при послойном построении изделий на базе исходной триангуляционной 3D модели мо-

жет быть получена путем рациональной ориентации их на платформе установки. Эта гипотеза справедлива для изделий, формообразующие поверхности которых относятся к относительно простым (плоскости, цилиндрические поверхности и их комбинации).

С целью повышения точности формообразования и производительности процесса изготовления каждое отдельное изделие необходимо ориентировать на платформе таким образом, чтобы сумма площадей треугольников триангуляционной модели, нормали которых перпендикулярны или параллельны направлению построения изделия, была максимальной. Математическое описание условия рациональной ориентации изделия на платформе имеет следующий вид:

$$F = \max_{\substack{1 \leq j_x \leq m_x \\ 1 \leq j_y \leq m_y \\ 1 \leq j_z \leq m_z}} \left(\sum_{1 \leq i \leq n} Q_i \right), \quad (1)$$

где m_x, m_y, m_z – число j_x, j_y, j_z вариантов ориентации изделия на рабочей платформе относительно осей координат OX, OY, OZ соответственно; n – общее количество i -х треугольников в триангуляционной модели изделия;

Q_i – площадь i -го треугольника при (j_x, j_y, j_z) варианте ориентации изделия в случае перпендикулярности или параллельности его нормали относительно вектора направления построения.

Площадь Q_i определяется с одновременным учетом ориентации каждого треугольника по следующей зависимости:

$$Q_i = \begin{cases} S_i, & \text{если } \left(\vec{N}_i, \vec{Z} \right) \in (0 \pm \cos(\Delta\phi)) \text{ или } (-1 \pm \cos(\Delta\phi)), \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

где S_i – площадь i -го треугольника, нормаль которого образует с вектором построения изделия углы в диапазонах, составляющих $\pi/2 \pm \Delta\phi$ или $\pi \pm \Delta\phi$;

\vec{N}_i – единичный нормальный вектор i -го треугольника триангуляционной модели;

\vec{Z} – единичный вектор направления построения изделия;

$\Delta\phi$ – шаг дискретизации угла поворота изделия относительно осей координат.

Общее количество треугольников n определяется по исходной STL модели изделия. В свою очередь, общее количество вариантов ориентации изделия m относительно осей координат определяется как $m = m_x m_y m_z = (1 + \pi/\Delta\phi)^3$.

Проведенные исследования показали, что рациональные значения шага дискретизации угла поворота $\Delta\phi$ находятся в интервале $\Delta\phi = \pi/20 \div \pi/10$. Углы поворота изделия относительно

осей координат на каждом шаге находятся по формулам:

$$\begin{aligned} \phi_{x(j_x)} &= \phi_{x(j_x-1)} + \Delta\phi, \quad 1 \leq j_x \leq m_x; \\ \phi_{y(j_y)} &= \phi_{y(j_y-1)} + \Delta\phi, \quad 1 \leq j_y \leq m_y; \\ \phi_{z(j_z)} &= \phi_{z(j_z-1)} + \Delta\phi, \quad 1 \leq j_z \leq m_z. \end{aligned} \quad (3)$$

При этом новые значения углов поворота изделия на каждом следующем шаге определяются на основе прежних.

Для нахождения значений Q_i необходимо вычислять скалярные произведения векторов: нормалей треугольников в триангуляционной модели и вектором направления построения изделия. При вычислении скалярных произведений требуется определять углы между векторами. Для общего случая значения этих углов могут быть рассчитаны по следующей зависимости [1]:

$$\begin{aligned} \phi_i &= \arccos \left(\frac{\vec{N}_i \vec{Z}}{|\vec{N}_i| \times |\vec{Z}|} \right) = \\ &= \arccos \left(\frac{N_{xi}Z_x + N_{yi}Z_y + N_{zi}Z_z}{\sqrt{N_{xi}^2 + N_{yi}^2} \times \sqrt{Z_x^2 + Z_y^2 + Z_z^2}} \right), \quad (4) \end{aligned}$$

где \vec{N}_i – единичный нормальный вектор i -го треугольника триангуляционной модели изделия с координатами $\{N_{ix}, N_{iy}, N_{iz}\}$;

\vec{Z} – единичный вектор направления построения изделия с координатами $\{Z_x, Z_y, Z_z\}$.

Для рассматриваемого случая, приведенные в (4) векторы имеют единичную длину. Вектор направления построения изделия совпадает с положительным направлением оси координат OZ , т. е. координаты вектора \vec{Z} будут $\{0, 0, 1\}$. Тогда зависимость (4) преобразуется к следующему виду:

$$\phi_i = \arccos \left(\vec{N}_i, \vec{Z} \right) = \arccos(N_{iz}). \quad (5)$$

Таким образом, косинус угла между векторами равен направляющему косинусу по оси OZ вектора направления построения изделия. Определение площадей треугольников STL модели производится только в случае, когда рассматриваемые углы ϕ_i лежат в диапазоне $\pi/2 \pm \Delta\phi$ или $\pi \pm \Delta\phi$. На основе вычисленных углов и площадей рассматриваемых треугольников рассчитывается значение функционала (1) при текущей ориентации изделия. Вместе со значением функционала сохраняются также текущие углы поворота изделия $(\phi_{x(j_x)}, \phi_{y(j_y)}, \phi_{z(j_z)})$. На следующем этапе рассчитываются новые значения углов поворота относительно осей координат по

формуле (3), и изделие ориентируется соответствующим образом. Далее вычисленное значение функционала (1) сравнивается со значением, полученным на предыдущем шаге. В случае если новое значение больше прежнего, то новые углы поворота изделия сохраняются. Процесс продолжается для всех возможных вариантов ориентации изделия. В конечном итоге значения рациональной ориентации изделия будут соответствовать результирующие углы его поворота относительно осей координат.

Рассмотрим применение предлагаемого подхода послойного построения изделий на основе триангуляционной 3D модели сферы, которая представляет собой систему из достаточно большого количества треугольников.

В данном случае точность STL модели зависит от количества треугольников, описывающих 3D тело.

На рис. 1 изображена модель сферы, аппроксимированная различным количеством треугольников: 1450, 450, 67.



Рис. 1. Аппроксимация модели сферы различным числом треугольников.

При передаче геометрической модели между CAD системами или сохранении данных о триангуляционной 3D модели изделия часть информации может теряться, например, топологическая информация о взаимосвязях между элементами и др.

Эта информация может быть вновь сгенерирована с использованием компьютерной техники, но требуется дополнительное время. Вычислительные мощности современной техники

достаточны для обработки больших объемов данных. Рассмотрим единичный элемент триангуляционной модели сферы, аппроксимированной 67 треугольниками (см. рис. 1).

На рис. 2 изображен i -й треугольник, угол φ_i между его нормальным вектором \vec{N}_i и направлением построения изделия \vec{Z} . Для данного случая направление построения изделия совпадает с положительным направлением оси OZ .

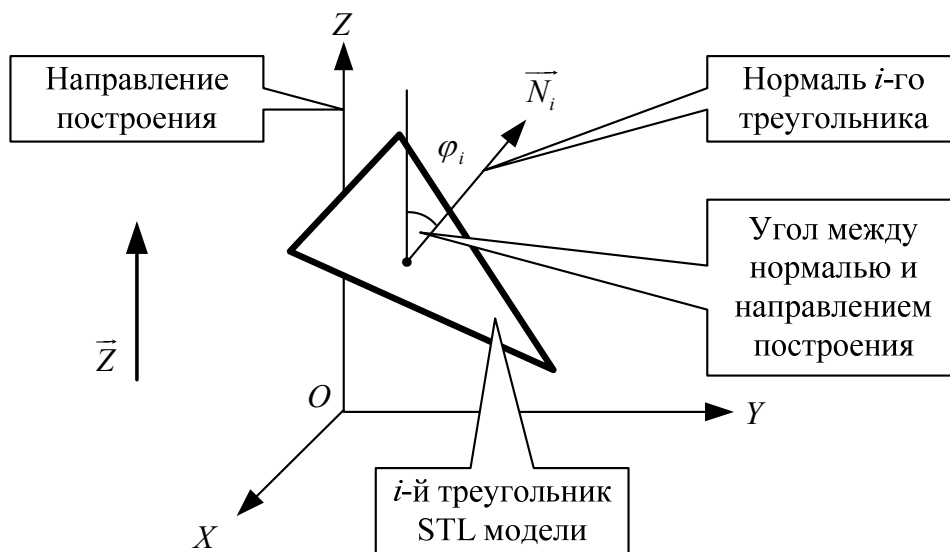


Рис. 2. Угол между нормальным вектором треугольника и направлением построения изделия.

Расчетная схема определения угла ϕ_i между нормальным вектором треугольника \vec{N}_i и направлением построения изделия \vec{Z} представлена на рис. 3. Приведена исходная поверхность из-

делия, поверхность i -го и $i-1$ треугольников триангуляционной модели, нормаль \vec{N}_i к ее поверхности, угол ϕ_i , две секущие плоскости с координатами Z_{i-1} и Z_i соответственно.

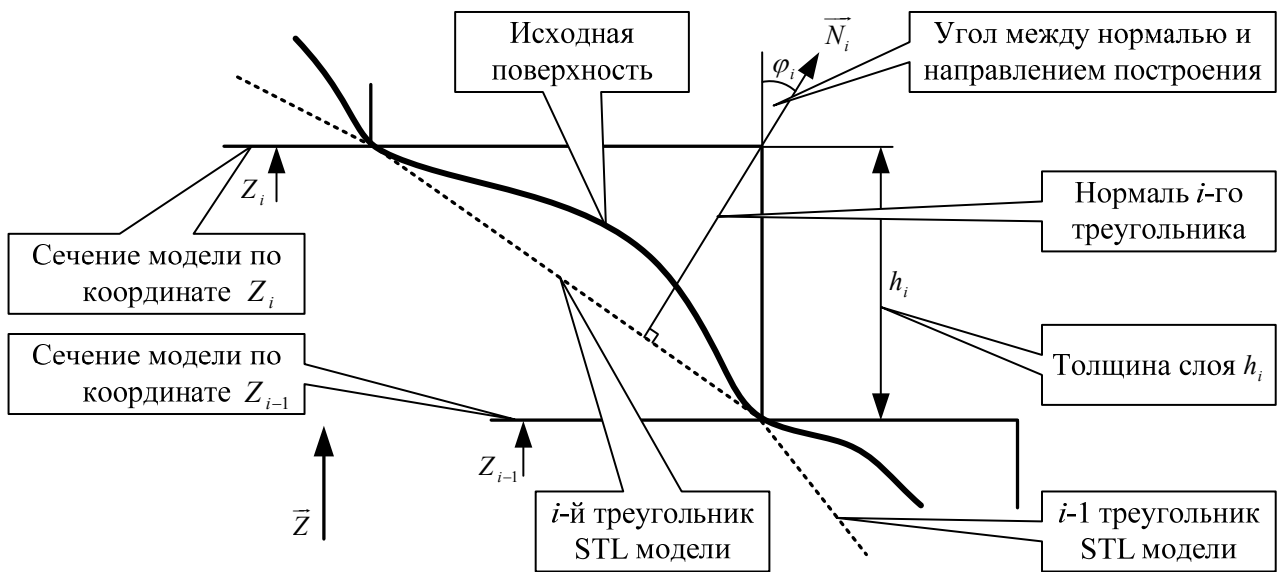


Рис. 3. Расчетная схема определения угла между нормальным вектором треугольника и направлением построения изделия.

На рис. 4 представлена триангуляционная модель изделия, состоящая из 10 граней. Каждая грань изделия разбита на соответствующее число треугольников. Информация об этих треугольниках берется из исходного STL-файла и используется для дальнейшего определения ра-

циональной ориентации изделия. На основе заданного шага дискретизации угла поворота изделия относительно осей координат осуществляется его ориентация на рабочей платформе с последующим выбором наиболее рационального варианта.

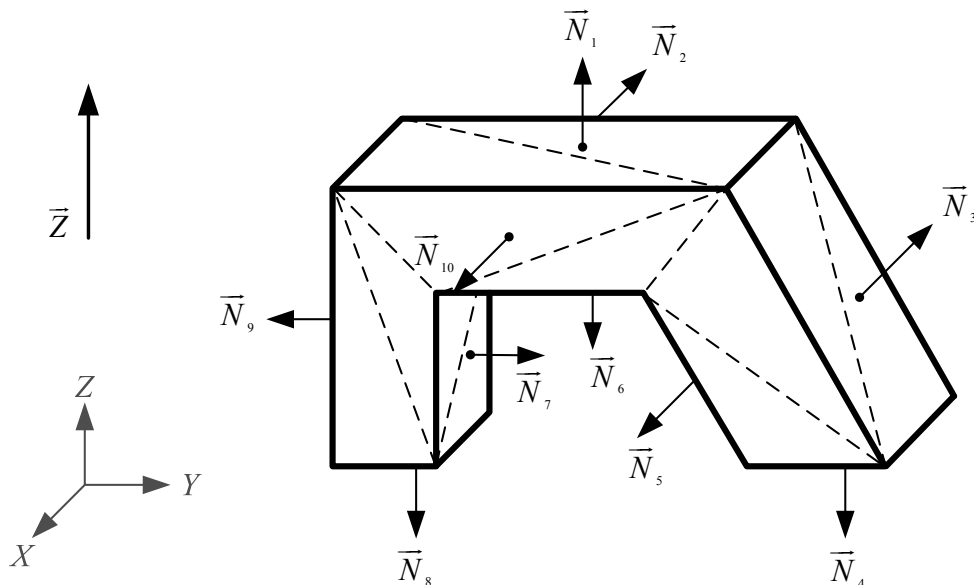


Рис. 4. Триангуляционная модель изделия, состоящая из 10 граней, и нормалей к ним.

Изделие, изображенное на рис. 4, относится к относительно простым. Формообразующие поверхности такого изделия строятся на основе базового объекта – плоскости. Для данного случая рациональная ориентация изделия будет со-

ответствовать повороту относительно оси OY на углы $\phi_y = -\pi/2$ или $\phi_y = \pi/2$. При этом площадь треугольников, нормали которых перпендикулярны вектору направления построения, будет максимальной. Необходимость в поддер-

живающих элементах для данного случая отсутствует.

Примеры использования предложенного подхода для реальных изделий представлены на рис. 6–8. В первом примере рассмотрим корпус опоры, изображенный на рис. 6а, с габаритными размерами по осям координат $69,850 \times 241,300 \times 141,163$ мм. Данный подход не учитывает в качестве критерия оптимизации минимизацию технологического времени изготовления изде-

лий. В результате применения предлагаемого подхода корпус опоры будет рационально ориентирован следующим образом (рис. 6б) с углами его поворота относительно осей координат XYZ : $\phi_x = \pi/2$, $\phi_y = \pi/2$ и $\phi_z = 0$.

При данной ориентации изделие будет иметь максимальную площадь поверхности основания, перпендикулярную вектору направления построения.

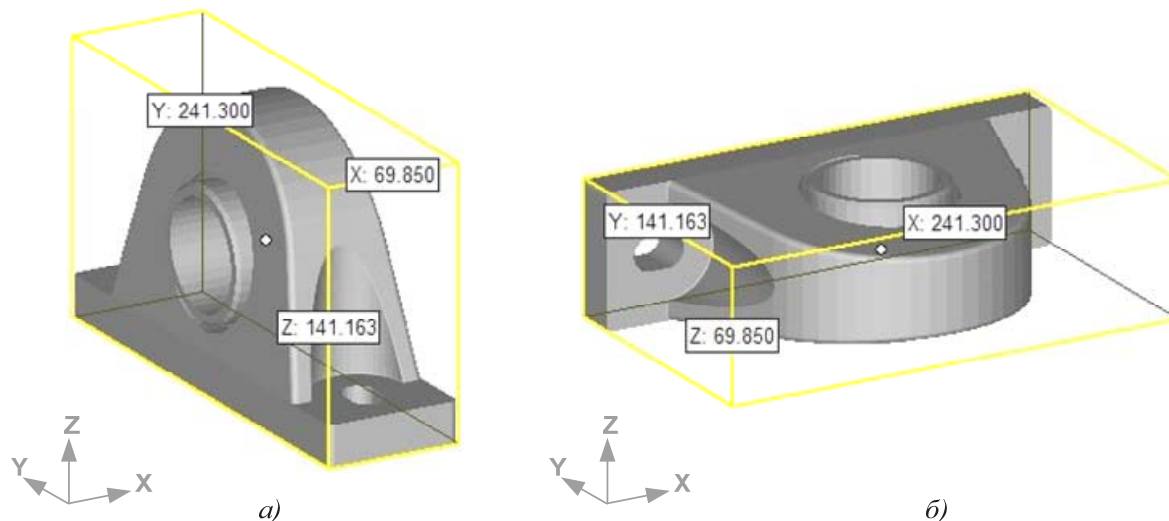


Рис. 6. 3D модель корпуса опоры для осуществления предлагаемого подхода послойного изготовления (а – исходная ориентация, б – результирующая ориентация).

Результирующая ориентация изделия после поворотов относительно осей координат приведет также и к уменьшению технологического времени формообразования.

Во втором примере представлен корпус, изображенный на рис. 7а, с габаритными размерами по осям координат $497,840 \times 368,300 \times 254,000$ мм.

В результате применения предложенного подхода корпус будет рационально ориентирован таким образом (рис. 7б), чтобы получить наиболее высокую достижимую точность изготовления. При этом углы поворота изделия относительно осей координат XYZ будут следующие: $\phi_x = \pi/2$, $\phi_y = \pi/2$ и $\phi_z = 0$.

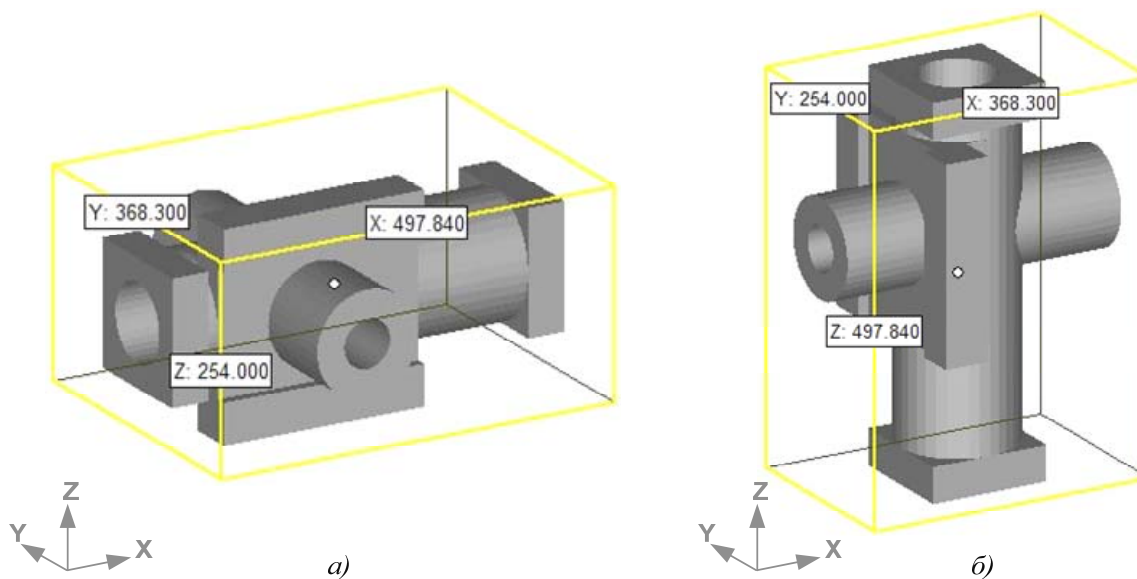


Рис. 7. 3D модель корпуса для осуществления предлагаемого подхода послойного изготовления (а – исходная ориентация, б – результирующая ориентация).

Технологическое время изготовления изделия в этом примере на базе результирующей ориентации будет больше относительно ее исходной ориентации. Это связано с тем, что преобладающая поверхность в изделии имеет цилиндрическую форму. Более высокая точность формообразования такого изделия возможна в том случае, когда нормали треугольников, описывающих боковую поверхность цилиндрической части, были перпендикулярны направлению построения.

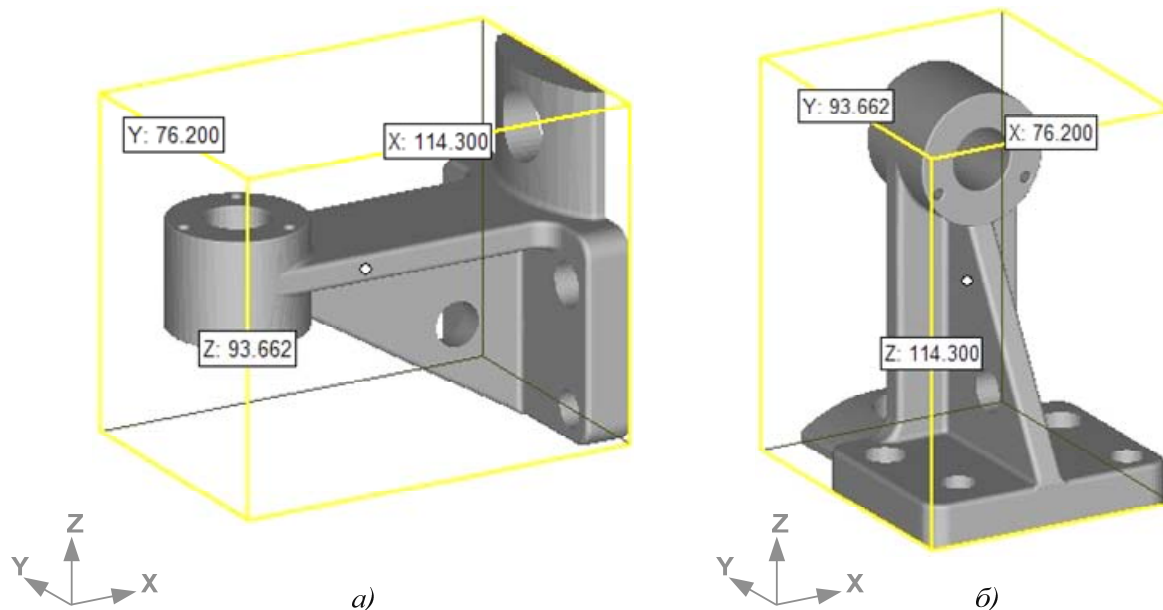


Рис. 8. 3D модель кронштейна для осуществления предлагаемого подхода послойного изготовления (*а* – исходная ориентация, *б* – результирующая ориентация).

Исходная ориентация изделия, как видно из рисунка, требует при построении методом лазерной стереолитографии наличие обязательных поддерживающих элементов. При результирующей ориентации изделия плоскость основания будет располагаться перпендикулярно направлению построения, что исключает применение поддерживающих элементов.

Выводы.

1. Выполненные исследования позволили выявить особенности рациональной ориентации изделий на платформе при их послойном изготовлении. Практической ценностью является возможность получения наиболее высокой достижимой точности формообразования изделий на базе исходной триангуляционной 3D модели.

2. Выявлено, что при осуществлении поворота изделия относительно осей координат возможно получение такой его ориентации, при которой будет минимизирована ступенчатость поверхностей. Это достигается за счет максимизации площадей поверхностей перпендикулярных или параллельных вектору направления построения изделия.

В третьем примере представлен кронштейн, изображенный на рис. 8а, с габаритными размерами по осям координат $114,300 \times 76,200 \times 93,662$ мм. В результате применения предложенного подхода кронштейн будет ориентирован рациональным образом (рис. 8б). При этом углы поворота изделия относительно осей координат XYZ будут следующие: $\phi_x = \pi/2$, $\phi_y = \pi/2$ и $\phi_z = \pi$.

3. На базе модельных экспериментов подтверждена необходимость предварительной рациональной ориентации изделий на рабочей платформе. Выбор должен производиться на этапе, предшествующем материализации изделий.

4. Возможность выбора рациональной ориентации изделий на рабочей платформе реализована в специальном программном обеспечении. С его помощью можно определить наиболее рациональную ориентацию изделия на основе заданного шага дискретизации угла поворота относительно осей координат.

5. Предложенный подход является одним из возможных вариантов по выбору рациональной ориентации изделий при их послойном изготовлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб. : ПИТЕР, 2004. – 560 с.
3. Пат. 4863538 США, МПК В 27 N 3/00, В 32 В 31/00, В 23 К 9/00, В 29 С 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.
4. Пат. 5015424 США, МПК В 29 С 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.
5. Пат. 5130064 США, МПК В 29 С 35/08, В 29 С 41/02, В 29 С 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.
6. Пат. 5141680 США, МПК В 29 С 35/08, В 29 С 41/02, В 29 С 41/36. Thermal stereolithography / Thomas A. Almquist, Dennis R. Smalley; 3D Systems Inc. – № 592559 ; filed 04.10.1990 ; date of print 25.08.1992.
7. Пат. 5184307 США, МПК G 06 F 15/46, В 29 С 35/08, В 29 С 67/00. 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. – № 331644 ; filed 31.03.1989 ; date of print 02.02.1993.
8. Пат. 5247180 США, МПК В 29 С 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.
9. 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.
10. Пат. 5663883 США, МПК G 06 F 19/00. Rapid prototyping method / Charles L. Thomas, Zetai Wang; University of Utah Research Foundation. – № 517092 ; filed 21.08.1995 ; date of print 02.09.1997.
11. Пат. 5902538 США, МПК В 29 С 35/08, В 29 С 41/02. Simplified stereolithographic object formation methods of overcoming minimum recoating depth limitations / Theodor R. Kruges, Chris R. Manners, Hop D. Hguyen; 3D Systems, Incorporation. – № 08/920428 ; filed 29.08.1997 ; date of print 11.05.1999.
12. 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.
13. Alexander P. Part orientation and build cost determination in layered manufacturing / P. Alexander, S. Allen, D. Dutta // Computer Aided Design. – 1998. – Vol. 30. – №. 5. – P. 343–356.
14. Bablani M. Quantification of errors in rapid prototyping processes and determination of preferred orientation of parts / M. Bablani, A. Bagchi // Transactions of the North American Manufacturing Research Institution of SME. – 1995. – Vol. 23. – P. 319–324.
15. Cheng W. Multi-objective optimization of part-building orientation in stereolithography / W. Cheng, J. Y. H. Fuh, A. Y. C. Nee, Y. S. Wong, H. T. Loh, T. Miyazawa // Rapid Prototyping J. – 1995. – Vol. 1. – № 4. – P. 12–23.
16. Conn A. R. Trust-region methods / Andrew R. Conn, Nicholas I. M. Gould, Philippe L. Toint. – Philadelphia : Society for Industrial Mathematics, 2000. – 979 p.
17. Frank D. Expert system-based selection of the preferred direction of build for rapid prototyping processes / D. Frank, G. Fadel // J. of Intelligent Manuf. – 1995. – №. 6. – P. 339–345.
18. Hong S. Byun. Determination of optimal build direction in rapid prototyping with variable slicing / Hong S. Byun, Kwan H. Lee // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2006. – №. 28. – P. 307–313.
19. Hong S. Byun. Optimal part orientation of rapid prototyping using a genetic algorithm / Hong S. Byun, Kwan H. Lee // Computers & Industrial Engineering. – 2004. – P. 426–431.
20. Hur J. The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing / J. Hur, K. Lee // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 1998. – №. 14. – P. 247–254.
21. Kim J. Y. C. Determination of optimal part orientation in stereolithographic rapid prototyping / J. Y. Kim, K. Lee, J.C. Park // Technical Report, Department of Mechanical Design and Production Engineering. – Seoul : Seoul National University. – 1994.
22. Lan P.T. Determining fabrication orientations for rapid prototyping with stereolithography apparatus / S. Y. Chou, L. L. Chent, D. Gemmill // Computer-Aided Design. – 1997. – Vol. 29. – № 1. – P. 53–62.
23. Massod S. H. A generic algorithm for part orientation system for complex parts in rapid prototyping / S. H. Massod, W. Rattanawong, P. Iovenitti // J. Mater. Process. Technol. – 2003. – Vol. 139. – № 1–3. – P. 110–116.
24. Masood S. H. A generic part orientation system based on volumetric error in rapid prototyping / S. H. Masood, W. Rattanawong // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2002. – № 19. – P. 209–216.
25. Pandey P. M. Optimal part deposition orientation in FDM by using a multi-criteria Genetic Algorithm/ P. M. Pandey, K. Thrimurtullu, N. V. Reddy // Int. J. of Production Research. – 2004. – Vol. 42. – No. 19. – P. 4069–4089.
26. Pham D. T. Part orientation in stereolithography / D. T. Pham, S. S. Dimov, R. S. Gault // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 1999. – № 15. – P. 674–682.
27. Satyandra K. Gupta. Finding near-optimal build orientations for shape deposition manufacturing / Satyandra K. Gupta, Qi Tian, Lee E. Weiss // Proceedings of the IFIP TC5 WG5.3 Int. Conf. on Sculptured Surface Machining. – 1998. – Vol. 146. – P. 208–216.

28. Optimum part deposition orientation in stereolithography / S. K. Singhal, A. P. Pandey, P. M. Pandey, A. K. Nagpal // Computer-Aided Design & Applications. – 2005. – Vol. 2. – Nos. 1–4. – P. 319–328.
29. Thompson D.C. Optimizing part quality with orientation / D. C. Thompson, R. H. Crawford // Proc. of the Solid Freeform Fabrication Symposium. – 1995. – Vol. 6. – P. 362–368.
30. Thrimurtullu K. Optimal part deposition orientation in fused deposition modeling / K. Thrimurtullu, P. M. Pandey, N. V. Reddy // Int. J. of Machine Tools and Manufacture. – 2003. – Vol. 44. – №. 6. – P. 585–594.
31. Optimal orientation with variable slicing in stereolithography / F. Xu, Y. S. Wong, H. T. Loh, J.Y.H. Fuh, T. Miyazawa // Rapid Prototyping J. – 1997. – Vol. 3. – № 3. – P. 76–88.
32. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения / В. П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.

УДК 621.923.5

Иззетов Н. А., Османов Э. Р.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

У статті представлений аналіз існуючих методів обробки точних глибоких отворів та факторів, що впливають на формування точності та продуктивності обробки. Виявлені основні шляхи удосконалення процесів фінішної обробки точних глибоких отворів.

Ключеві слова: хонінгування, зенкування, глибоке свердління, овальність, припуск, точність, фінішна операція.

В статье представлен анализ существующих методов обработки точных глубоких отверстий и факторов, влияющих на формирование точности и продуктивности обработки. Определены основные пути совершенствования процессов финишной обработки точных глубоких отверстий.

Ключевые слова: хонингование, зенкерование, глубокое сверление, овальность, припуск, точность, финишная операция.

In the article are presented analysis of the exist methods of the treatment of the precise deep orifices, and the factors that influence on the forming of the precision and the productivity of the treatment. The basic ways of the processes perfection of the finishing treatment of the precise deep orifices are determined.

Keywords: honing, reaming, deep drilling, ovality, allowance, accuracy, and finishing operations.

Постановка проблеми. Изготовление глубоких отверстий, особенно малых диаметров повышенной относительной длины, связано с большими технологическими трудностями, которые существенно возрастают с уменьшением диаметра обработки, увеличением относительной длины отверстия и повышением прочностных характеристик обрабатываемого материала заготовки. При этом наибольшие трудности возникают при выполнении финишной операции глубоких отверстий после предшествующих операций зенкерования или глубокого сверления.

Анализ литературы показывает, что процессы обработки отверстий зенкерованием и сверлением с относительной длиной 50 и более раз имеют свои особенности, которые приводят к ограничению производительности обработки и к снижению качественных показателей обработанных отверстий.

К таким особенностям относятся низкая изгибная, крутильная и продольная жёсткость применяемого инструмента, низкая изгибная жёсткость заготовок и значительные величины непрямолинейности их оси, достигаемые до 4,0 мм, высокие частоты вращения шпинделя (до

2000 об./мин.), а также трудности удаления стружки из зоны обработки [1].

Таким образом, полученные заготовки деталей с глубокими отверстиями имеют неравномерность припуска по диаметру для снятия на финишной операции в пределах до 0,15...0,20 мм на длине 1000 мм, кривизну оси отверстия до 2,5...4,0 мм на длине 1000 мм, отклонение от круглости до 0,4...0,5 мм в различных сечениях по всей длине отверстия, конусность 0,6...0,7 мм на длине 1000 мм.

Исходя из вышеуказанных причин, финишная обработка точных глубоких отверстий с относительной длиной 50 и выше раз шлифованием практически невозможна из-за чрезмерно низкой жёсткости шлифовальной оправки и высокой трудоемкости установки заготовки на шлифовальном оборудовании. Поэтому наиболее эффективным методом финишной обработки глубоких отверстий для обеспечения высокой точности и чистоты обработанной поверхности принят процесс алмазного хонингования, который выполняется при значительно малых скоростях резания, а также низких температурных и силовых режимах обработки.

Основным условием получения заданной геометрической точности глубоких отверстий, при хонинговании является обеспечение в конструкциях хонголовки и приспособления для крепления детали, необходимых степеней свободы при взаимном базировании рабочих поверхностей брусков и обрабатываемой поверхности. Вследствие уменьшения погрешности базирования припуск под хонингование определяется в основном величиной исходной геометрической погрешности отверстия и является значительно меньше, чем необходимый припуск под шлифование.

Перечисленные выше факторы подтверждают преимущества процесса хонингования в производительности и точности по сравнению со шлифованием.

Вопросу аналитического исследования основных закономерностей исправления исходных погрешностей формы отверстия при хонинговании посвящены работы М. Х. Муллагулова [2] и И. Е. Фрагина [3] (для случая обработки тонкостенных цилиндров).

М. Х. Муллагулов для расчёта продолжительности обработки τ , необходимой для снижения величины погрешности формы от $\delta_{исх}$ до $\delta_{кон}$, получил следующую формулу:

$$\tau = \frac{1}{CK} \ln \frac{\delta_{исх}}{\delta_{кон}} \quad (1)$$

где C – коэффициент, зависящий от жёсткости заготовки;

K – коэффициент, зависящий от режущей способности брусков;

l – длина хода инструмента, в мм;

n – число двойных ходов инструмента.

Ученый считает, что продолжительность обработки для устранения погрешности формы до заданной величины не зависит от давления брусков.

И. Е. Фрагин [3] при решении аналогичной задачи нашёл зависимости, связывающие время хонингования, припуск, жесткость деталей, число брусков, их режущую способность и удельное давление с начальной и конечной величинами погрешности формы, и посчитал, что интенсивность съёма металла Q_v при алмазном хонинговании изменяется во времени и описывается уравнением:

$$Q_v = \frac{P}{P_0} (\rho - \gamma\tau), \quad (2)$$

где ρ и γ – коэффициенты, зависящие от режущей способности брусков;

P_0 – давление, при котором найдены коэффициенты ρ и γ ;

P – давление брусков;

τ – текущее время.

В следующих своих исследованиях [4] И. Е. Фрагин констатирует, что при значении исходной овальности свыше 0,04...0,05 мм её устранение связано со значительными трудностями, а продолжительность отработки зависит от величины исходной овальности и режущей способности брусков инструмента.

Известно, что для финишной обработки глубоких отверстий разработаны различные конструкции хонинговальных головок [5]. Однако они не могут обеспечить высокую производительность и точность обработки, так как в глубоких отверстиях, длиной 1000 мм и выше, трудно обеспечить постоянный контроль геометрических параметров на каждом участке длины отверстия в процессе непрерывной обработки.

Цель статьи – определить пути повышения точности и производительности финишной обработки точных глубоких отверстий, влияющих на показатели процесса обработки.

Изложение основного материала. Исследование закономерностей исправления исходных погрешностей формы при хонинговании имеет первостепенное значение для обеспечения заданной точности и обоснования режимов обработки, а так же для расчёта припусков и создания специального инструмента.

Исходя из этого, для исследования влияния конструктивных особенностей инструмента и характера изменения удельного давления $P_{уд}$ на повышение точности и производительности при финишной обработке глубоких отверстий была разработана новая прогрессивная конструкция специальной хонинговальной головки (см. рис. 1).

Особенностью представленной хонинговальной головки является то, что последняя снабжена специальными колодками 1 (рис. 1, В–В), несущими на себе алмазные бруски, выполненные с возможностью изменения размера h по высоте при росте удельного давления P_y больше допустимого значения $P_{y,max}$, связанного с неравномерностью припуска.

Для установления экономических и точностных показателей разработанной хонголовки были проведены опытно-экспериментальные исследования по следующей методике.

Эксперименты проводились на токарно-винторезном станке модели 16К20, оснащённом специальным приспособлением с гидроцилиндром для установки и закрепления хонголовки шарнирно с возможностью осуществления возвратно-поступательного движения. Для сообщения вращательного движения заготовке последняя устанавливалась в шпинделе станка горизонтально и закреплялась жестко. Перемещение

разжимного штока для дозированной радиальной подачи брусков осуществлялось вручную после каждого двойного хода инструмента. Хо-

нинговальная головка была оснащена шестью брусками марки АС6 200/160-М1-01-100% длиной 150 мм.

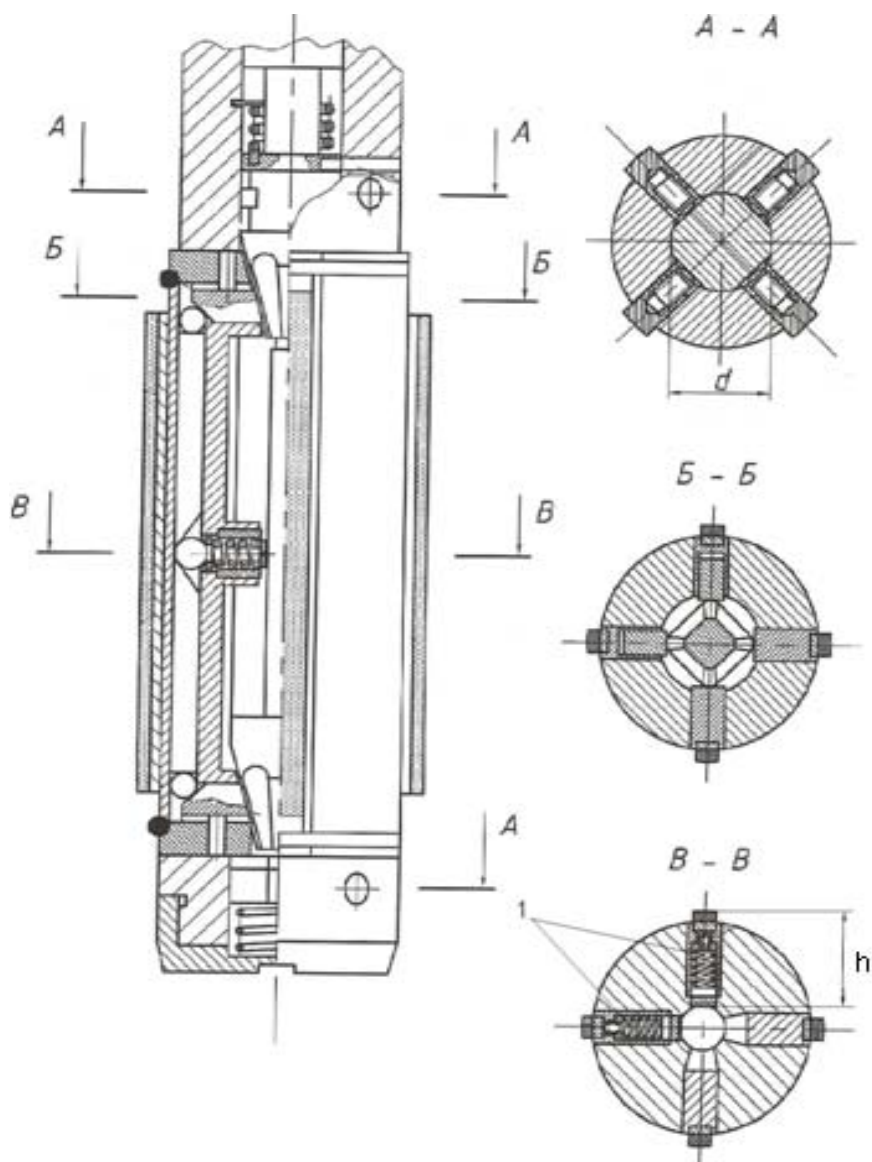


Рис. 1. Хонинговальная головка для обработки точных глубоких отверстий.

В качестве заготовки принята труба с длиной 1500 мм, нормальной точности, внутренним диаметром 52 мм, толщиной стенки 4 мм, материал 38ХМЮА, имитирующий цельный цилиндр нефтяного глубинного насоса с условным диаметром 52 мм.

Эксперименты проводились в три этапа, при разных значениях дозированной подачи $S_{\text{доз}} = 0,004 \text{ мм}$, $0,006 \text{ мм}$ и $0,008 \text{ мм}$ на каждый двойной ход инструмента.

Геометрические погрешности отверстия заготовки до хонингования: овальность отверстия – $0,15 \dots 0,32 \text{ мм}$ на длине 1000 мм; отклонение от цилиндричности – $0,3 \dots 0,35 \text{ мм}$ на длине 1000 мм.

Отверстия заготовок до и после обработки измерялись с помощью специальной пневмопробки по расходу сжатого воздуха.

При проведении экспериментов постоянными параметрами процесса обработки были приняты скорости обработки $V_{\text{окр}} = 42 \text{ м/мин.}$ и $V_{\text{в.п.}} = 12 \text{ м/мин.}$; длина поступательного хода инструмента – 1600 мм; время обработки – $t = 7 \text{ мин.}$

Обработке подвергались 30 деталей по 10 штук в каждом этапе. В качестве СОЖ применялась смесь керосина с веретенным маслом соответственно в соотношении 5:1.

Диаметры отверстий измерялись на всей длине, и по данным замеров вычислены среднеарифметические значения съема металла, которые приведены в табл. 1, где также показаны средние значения съема металла и показания исправления исходных отклонений от круглости и цилиндричности при разных этапах обработки.

Таблица 1.

Показатели зависимости съема металла ΔD , интенсивности исправления исходных погрешностей отклонения от круглости $\Delta K_{кр}$ и цилиндричности отверстия.

Этапы обработки	Радиальная подача брусков (S), мм/дв.ход	Съем металла на диаметр (ΔD), мм	Отклонение от круглости ($\Delta K_{кр}$), мм	Отклонение от цилиндричности ($\Delta Ц$), мм	Коэффициент исправления отклонения от	
					круглости	цилиндричности
I	0,004	0,23	0,110	0,082	0,66	0,78
II	0,006	0,28	0,060	0,05	0,81	0,84
III	0,008	0,37	0,025	0,025	0,9	0,91

По данным таблицы построены графики зависимости съема металла ΔD , интенсивности исправления исходных погрешностей отклоне-

ния от круглости $\Delta K_{кр}$ (рис. 2) и цилиндричности отверстия (рис. 3).

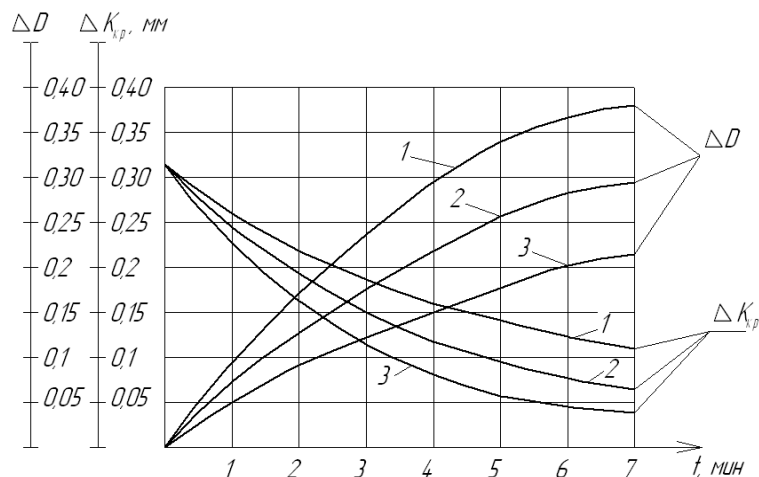


Рис. 2. Зависимость съема металла ΔD и интенсивность исправления отклонения от круглости $\Delta K_{кр}$ от времени хонингования t и величины дозированной подачи $S_{доз}$: 1 — при $S_{доз} = 0,004$ мм/дв. ход; 2 — при $S_{доз} = 0,006$ мм/дв. ход; 3 — при $S_{доз} = 0,008$ мм/дв. ход.

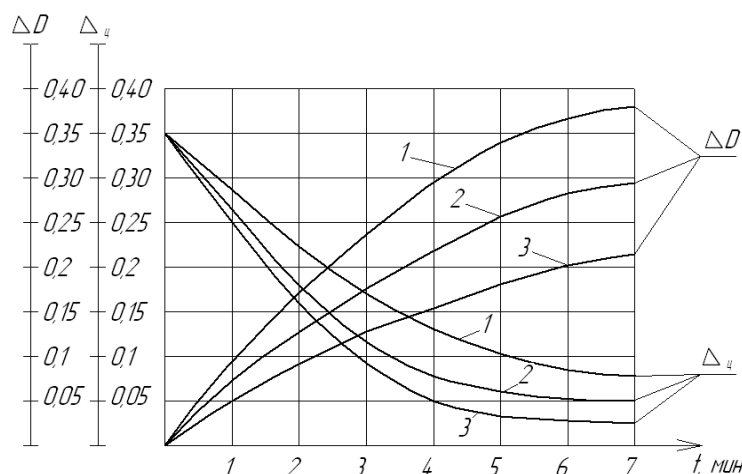


Рис. 3. Зависимость съема металла ΔD и интенсивность исправления отклонения от круглости $\Delta Ц$ от времени хонингования t и величины дозированной подачи $S_{доз}$: 1 — при $S_{доз} = 0,004$ мм/дв. ход; 2 — при $S_{доз} = 0,006$ мм/дв. ход; 3 — при $S_{доз} = 0,008$ мм/дв. ход.

Как видно из графиков, величина съема металла ΔD постоянно снижается с ростом продолжительности обработки t несмотря на то, что величина дозированной подачи брусков на обрабатываемую поверхность на протяжении одного цикла обработки была постоянной на каждый двойной ход инструмента. Это объясняется тем, что с продолжительностью обработки ше-

роховатость поверхности постоянно уменьшается, опорная поверхность увеличивается, а постоянная величина дозированной радиальной подачи ΔS брусков приводит к росту удельного давления. А это, как видно из конструкций хонгловки, способствует к сжатию специальных колодок 1 по радиусу R , (рис. 1, В-В), что способствует к снижению удельного давления P_y бру-

сков на обрабатываемую поверхность и тем самым к снижению съёма металла.

Таким образом, выражение (2) для расчёта величины съёма металла с учётом упругости инструмента можно записать в виде:

$$Q_v = \frac{P}{P_0} (\rho - r_2) K_u, \quad (3)$$

где K_u – коэффициент упругости инструмента.

Для дальнейшего совершенствования процесса финишной обработки глубоких отверстий с использованием разработанной хонинговальной головки в настоящее время проводятся исследовательские работы по созданию многофункционального шпиндельного узла для хонинговальных станков, что позволяет повысить точность обработки и расширить технологические возможности станка.

Конструкции разработанной хонинговальной головки защищена авторским свидетельством СССР №715304 и была испытана при изготовлении цельных цилиндров скважинных глубинных насосов длиной 3500 мм и условным диаметром 43 мм.

Вывод. Результаты испытаний показали, что производительность обработки по сравнению с показателями известных хонинговок повысилась в 1,5–2 раза, а точность по цилиндрич-

ности отверстия – до 0,02 мм, по конусообразности – до 0,015 мм на длине 1000 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Немцев Б. А. О выборе основных параметров процесса глубокого сверления отверстий малых диаметров с относительной длиной больше 100. Интенсификация технологических процессов механической обработки / Б. А. Немцев, П. Д. Яковлев // Прогрессивные технологические процессы, инструменты и оснастка для обработки глубоких отверстий. – 1986. – № 3. – С. 65–66.
2. Муллагулов М. Х. Радиальные деформации от давления брусков и величина припуска при хонинговании тонкостенных цилиндров / М. Х. Муллагулов // Сборник трудов ВЗПИ. – М. : ВЗПИ, 1966. – Вып. 35. – С. 66–75.
3. Фрагин И. Е. Точность и производительность при алмазном хонинговании и суперфинишировании / И. Е. Фрагин. // Алмазная обработка деталей тракторов и сельхозмашин. – М. : НИИТракторсельхозмаш, 1973. – Вып. 5. – С. 5–21.
4. Фрагин И. Е. К теории устранения исходной погрешности при хонинговании тонкостенных цилиндров / И. Е. Фрагин // Алмазно-абразивная обработка деталей машин. – М. : ОНТЭИ, 1970. – С. 21–50.
5. Куликов А. С. Хонингование : справочное пособие / А. С. Куликов, В. А. Романчук, Ф. Ф. Ризванов. – М. : Машиностроение, 1973. – 180 с.

УДК 621.74.043

Падерин В. Н., Хачикова И. С.

СПОСОБ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ В ВАКУУМЕ С ДВУМЯ КАМЕРАМИ ПРЕССОВАНИЯ

У статті розглянутий вплив способу литва під тиском з двома камерами пресування на газоусадочну пористість і герметичність відливаних при литві алюмінієвих сплавів.

Ключові слова: литва під тиском, вакуум, камера пресування, пористість, герметичність, пресс-форма, машина ливарні.

В статье рассмотрено влияние способа литья под давлением в вакууме с двумя камерами прессования на газоусадочную пористость и герметичность отливок при литье алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: литье под давлением, вакуум, камера прессования, пористость, герметичность, пресс-форма, литейная машина.

The article runs that the method of casting under vacuum pressure with two chambers of pressing on gas-shrinking porosity and hermeticity of castings during the casting of aluminium alloys.

Key words: casting under pressure, vacuum, pressing chamber, porosity, impermeability, press-form, casthouse machine.

Постановка проблемы. Литье под давлением (ЛПД) – это малоотходный, высокопроизводительный процесс получения точных литых заготовок, сложной конфигурации с качественной поверхностью. Однако применение этого способа, особенно для ЛПД алюминиевых сплавов, часто ограничивается из-за повышенной пористости (П%) в отливках [1; 2], которая сни-

жает их плотность и герметичность (Г%). Это связано, с одной стороны, с низкой эффективностью вентсистемы [3; 4], а с другой стороны, из-за затвердевания питателей раньше, чем отливки, действие давления подпрессовки также неэффективно [5].

В настоящее время данная выявленная проблема является важной производственной задачей.

Анализ публикаций [6–8] показывает, что в литературе имеются ограниченные данные о способах, позволяющих гарантированно получать плотные и Г% отливки.

Наиболее эффективным способом является система ЛПД с двумя камерами прессования (ДКП) [8], позволяющая изготавливать в пресс-формах вентиляционную систему с расчетно-необходимой площадью для удаления воздуха и газов СМ, а также обеспечения действия давления подпрессовки до полного затвердевания отливки, что дополнительно снижает воздушно-газовую и усадочную П%. Однако этот способ также не позволяет полностью удалить воздух и газы СМ из-за низкого перепада давлений между рабочей полостью пресс-формы и атмосферой во время заполнения, не обеспечивающего надкритического режима удаления газов, и их часть все равно попадает в отливку, образуя П%.

Цель данной статьи – усовершенствовать способа ЛПД с ДКП, который позволил бы удалить из пресс-формы весь воздух и газы СМ для получения максимальной плотности и Г% отливки, а также уменьшить усадочную П%.

Изложение основного материала. В связи с этим нами был разработан способ ЛПД *в вакууме* с ДКП [9], позволяющий за счет надкритического режима удаления газов повысить плотность и Г% отливок, а также уменьшить усадочную П% за счет питания отливки до полного ее затвердевания. Поставленная нами цель достигается за счет применения цилиндра вакуумирования 26 (рис. 1), встроенного в цикл прессования литейной машины и позволяющего создать надкритический режим удаления воздуха и газов СМ из рабочей полости пресс-формы в цилиндр вакуумирования 26, обеспечивая максимальную плотность и Г% отливок.

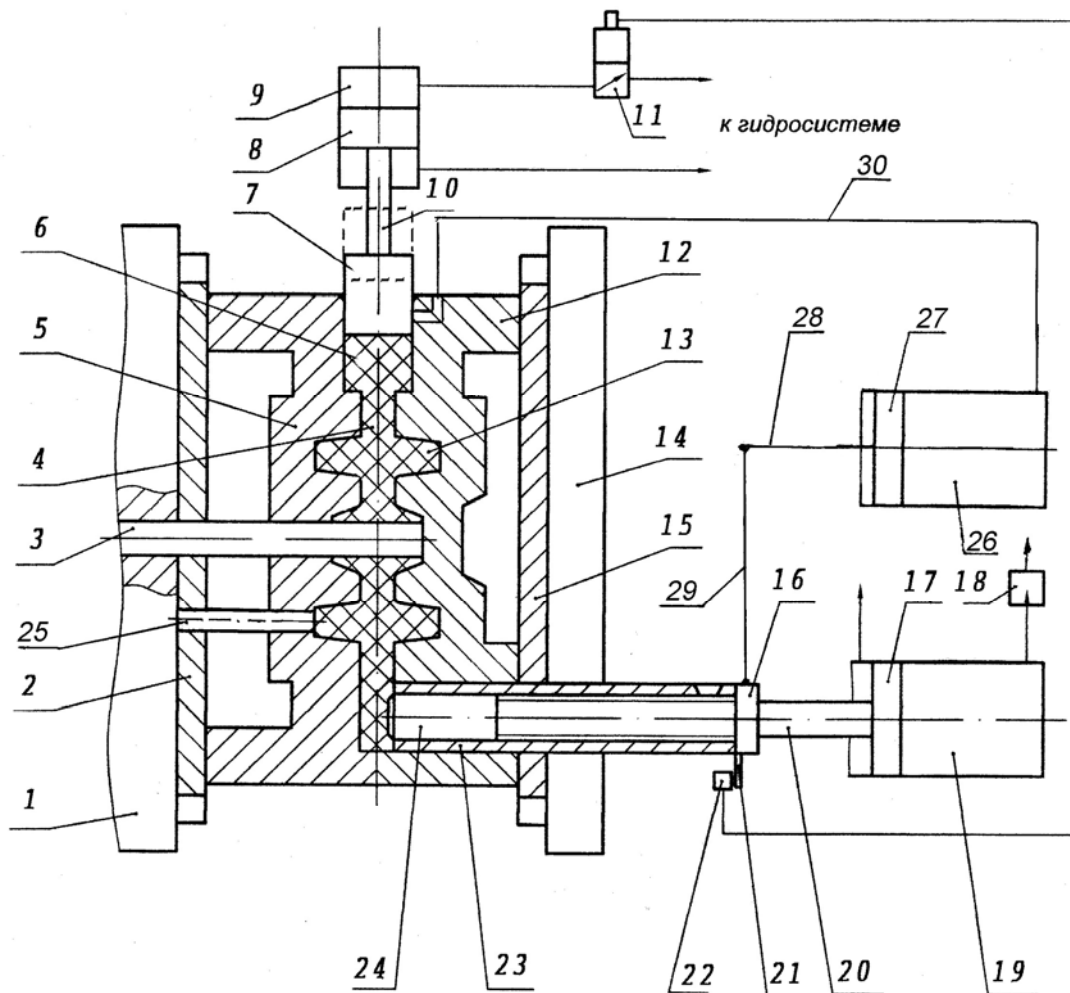


Рис. 1. Устройство для реализации способа ЛПД в вакууме с ДКП (конечное положение): 1 – подвижная плита, 2 – плита крепления, 3 – стержень, 4 – вентиляционная система, 5 – подвижная матрица, 6 – вторая камера прессования, 7 – пресс-поршень, 8 – поршень, 9 – механизм подпрессовки, 10 – шток, 11 – электрогидроклапан, 12 – неподвижная матрица, 13 – отливка (рабочая полость пресс-формы), 14 – подвижная плита машины, 15 – плита крепления, 16 – регулируемый упор, 17 – поршень, 18 – гидродроссель, 19 – механизм прессования, 20 – шток, 21 – планка, 22 – конечный выключатель, 23 – камера прессования, 24 – пресс-поршень, 25 – выталкиватель, 26 – пневмоцилиндр вакуумирования, 27 – поршень, 28 – шток, 29 – рычаг, 30 – трубопровод.

В устройство для реализации способа дополнительно введен вертикальный механизм подпрессовки 9 со второй камерой прессования 6, состоящей из двух половин, соединенных по плоскости разъема, которая, с одной стороны, подключена к цилиндру вакуумирования 26, установленного параллельно механизму прессования 19, поршень которого 27 через шток 28 и рычаг 29 жестко соединен со штоком 20 механизма прессования 19, а с другой, – через трубопровод 30 соединен с вентканалом 6 с толщиной не меньше толщины отливки с рабочей полостью пресс-формы 13, в результате чего сначала происходит заполнение и одновременно вакуумирование рабочей полости пресс-формы 13 и части второй камеры прессования 6, а затем с помощью дополнительного вертикального механизма 9 осуществляется подпрессовка расплава с целью максимального сжатия оставшегося воздуха и газов СМ.

При данном обстоятельстве обеспечивается питание отливки во время кристаллизации до полного затвердевания, низкая П%, а также высокая плотность и Г%. При необходимости для уменьшения риска попадания расплава в систему вакуумирования между трубопроводом 30 и второй камерой прессования 6 нужно установить игольчатый фильтр с общей расчетной площадью между иглками, необходимой для удаления воздуха и газов СМ.

Учитывая, что при заполнении расплавом камеры прессования 23 (из практики ЛПД) свыше 70% от ее объема во время движения пресс-поршня 24 происходит выплескивание части расплава через заливочное окно в атмосферу цеха, что может привести к травме литейщика. Кроме того, для уменьшения общего объема удаляемого воздуха и газов СМ из пресс-формы (до 50%) необходимо полностью заполнять камеру прессования 23 расплавом, а заливочное окно закрывать ручным или механизированным способом.

Поэтому в устройство для реализации способа ЛПД в вакууме с ДКП *дополнительно* введено автоматическое устройство для закрытия и открытия заливочного окна камеры прессования 23, работающее от гидросистемы литейной машины, которое показано на рис. 2.

Определение основных параметров устройства для способа ЛПД в вакууме с ДКП, обеспечивающих высокую плотность и Г% отливок. Максимальное качество отливок достигается при оптимальной скорости, обеспечивающей сплошное последовательное заполнение рабочей полости пресс-формы расплавом, которая устраняет его смешивание с воздухом и газами СМ и определяется практическим путем с

помощью способа изготовления неполных отливок [9].

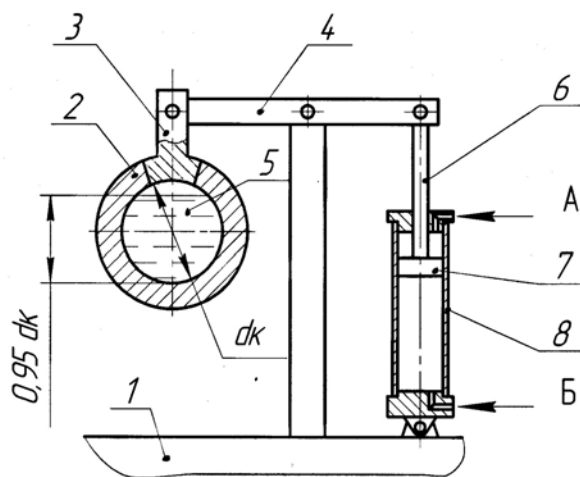


Рис. 2. Автоматическое устройство для закрытия и открытия заливочного окна камеры прессования: 1 – основание литейной машины; 2 – камера прессования; 3 – пробка; 4 – рычаг; 5 – расплав; 6 – шток; 7 – поршень; 8 – гидроцилиндр; А, Б – места подключения к гидросистеме.

На рис. 3 показаны неполные отливки, полученные путем остановки пресс-поршня 24 при различных скоростях заполнения пресс-формы расплавом, из которых видно, что оптимальный режим заполнения для показанной отливки корпуса пневмодросселя ПКР25 находится в диапазоне от 2 до 3 м/сек.



а) $V = 2$ м/сек

б) $V = 3$ м/сек

Рис. 3. Определение оптимальной скорости сплошного последовательного режима заполнения для корпуса ПКР25.

При дальнейшем увеличении скоростей заполнения образуется оболочка из расплава, перекрывающая вентсистему, и весь оставшийся воздух и газы СМ попадают в тело отливки, образуя высокую П%, которая в сочетании с усадочной П% снижает плотность и Г% отливки. Очевидно, что для других отливок в зависимости от их объема и конфигурации оптимальные значения скоростей заполнения будут иметь другие значения.

Определение диаметра камеры прессования d_k производим по формуле (1) или номограмме (рис. 4):

$$d_k = \sqrt{\frac{1,274V_{\Sigma 1}}{\Lambda_4}}, \quad (1)$$

где $V_{\Sigma 1}$ – объем заливаемого расплава;
 Λ_4 – длина камеры прессования.

Объем заливаемого расплава определяется по формуле:

$$V_{\Sigma 1} = V_{\text{отл.}} + V_{\text{л.с.}} + V_{\text{в.с.}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{отл.}}$ – объем отливки;
 $V_{\text{л.с.}}$ – объем литниковой системы;
 $V_{\text{в.с.}}$ – объем вентиляционной системы, заполненной расплавом;
 $V_{\text{л.с.}}$ и $V_{\text{в.с.}}$ определяются конструкцией пресс-формы.

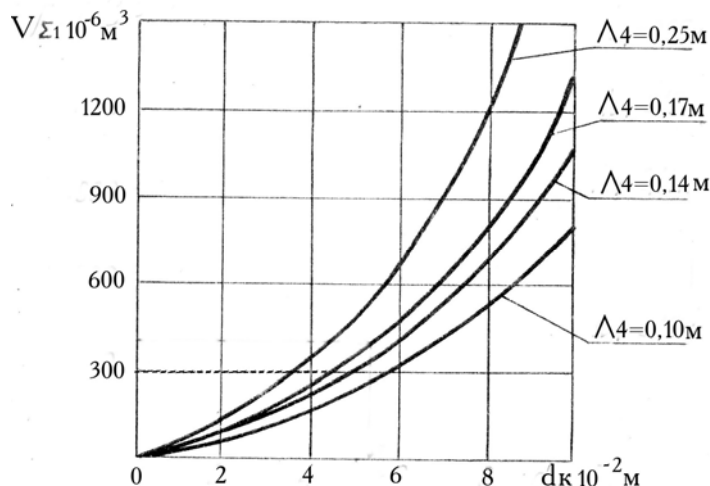


Рис. 4. Номограмма для определения d_k в зависимости от $V_{\Sigma 1}$ и Λ_4 .

При необходимости d_k округляем до ближайшего стандартного ряда размеров пресс-поршней, применяемых в производстве.

Рекомендуется длину камеры прессования Λ_4 выбирать исходя из качества поверхности отливки, учитывая, что чем меньше Λ_4 , тем меньше и время заполнения расплавом рабочей полости пресс-формы при оптимальной скорости заполнения, тем лучше чистота поверхности отливок (см. рис. 3).

Зная $V_{\Sigma 1}$, объем натекания через незначительные зазоры в пресс-форме между подвижными знаками и выталкивателями – $V_{\text{нат.}} = 0,1-0,2V_{\text{отл.}}$ и объем выделяющихся газов от сгора-

ния смазки $V_{\text{г.см.}} = 0,2-0,5V_{\text{отл.}}$, суммарный объем газов ΣV_1 определяется по формуле:

$$\Sigma V_1 = V_{\Sigma 1} + V_{\text{г.см.}} + V_{\text{нат.}} \quad (3)$$

Зная ΣV_1 и время τ_{n1} , определяемое миллисекундомером или тензометрическими датчиками, расход газов q_1 из рабочей полости пресс-формы находим по формуле:

$$q_1 = \Sigma V_1 / \tau_{n1} \quad (4)$$

Зная q_1 , определяем эффективную площадь вентсистемы $\mu_1' f_1'$, принимая допущение, что режим истечения газов из полости пресс-формы – надкритический – по номограмме (рис. 5).

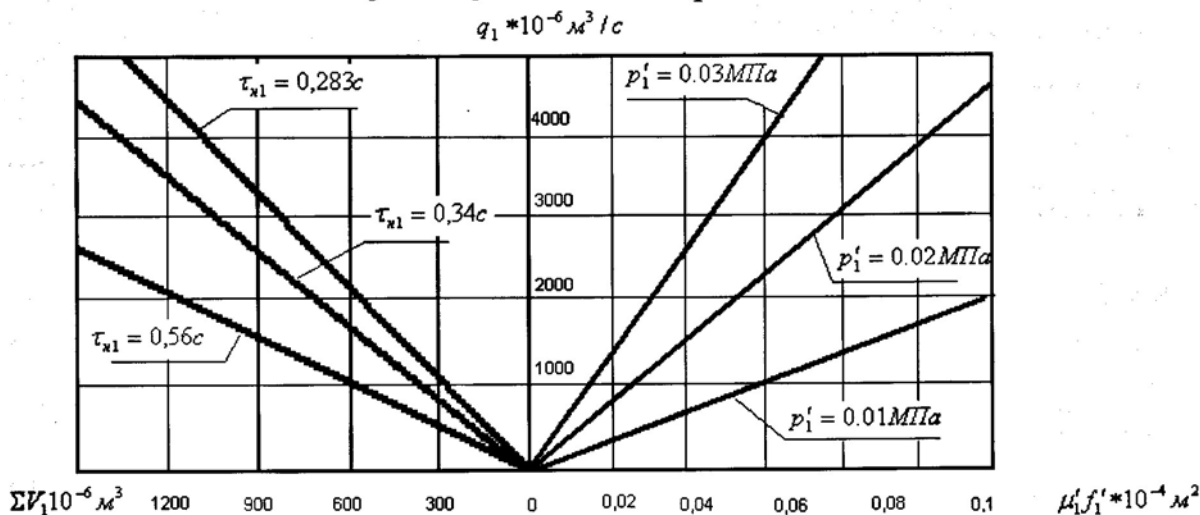


Рис. 5. Номограмма для определения q_1 и $\mu_1' f_1'$ в зависимости от ΣV_1 и p_1' .

При расчете $\mu_1 f_1'$ рекомендуется значением p_1' задаваться с запасом и принимать $\leq 0,02$ МПа. Принимаем, что холостой ход цилиндра вакуумирования в исходном положении $V_{х.ц.} = 0,1 - 0,2 V_{отл.}$, тогда суммарный объем газов, удаляемых в цилиндр вакуумирования ΣV_3 , определяем по формуле:

$$\Sigma V_3 = \Sigma V_1 + V_{в.с.} + V_{тр.} + V_{х.ц.} \quad (5),$$

где $V_{в.с.}$ – объем вентсистемы, не занятой расплавом;

$V_{тр.}$ – объем трубопровода, соединяющего вентсистему с цилиндром вакуумирования;
 $V_{в.с.}$ и $V_{тр.}$ определяются конструктивно.

Зная ΣV_3 и Λ_4 , определяем диаметр цилиндра вакуумирования $D_{ц.в.}$ по формуле (6) или по номограмме (рис. 6) (для $\Lambda_4 = 170$ мм и различных значений p_1'), тогда:

$$D_{ц.в.} = \sqrt{p_0 4 \Sigma V_3 / p_1' \pi \Lambda_4}. \quad (6)$$

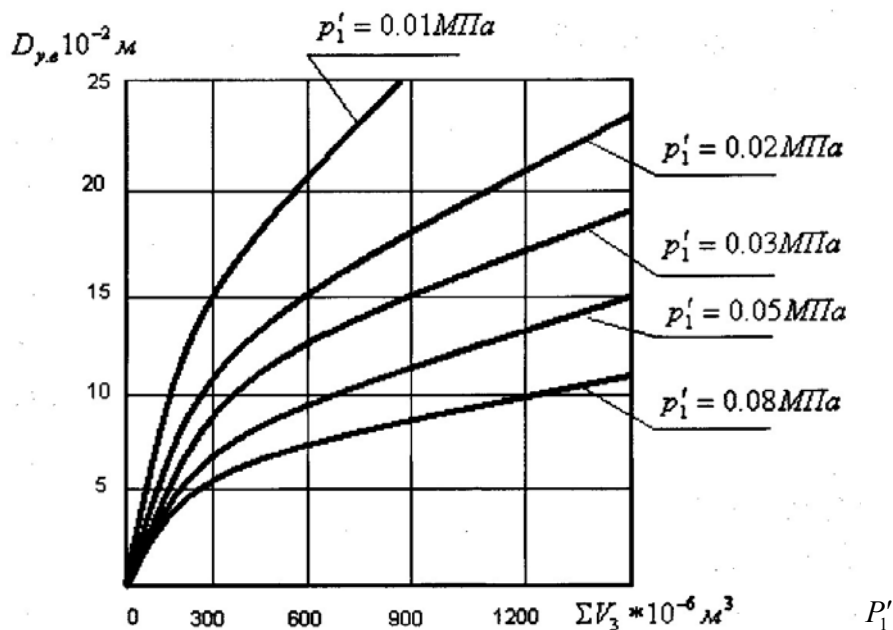


Рис. 6. Номограмма для определения $D_{ц.в.}$ в зависимости от ΣV_3

Вывод. Предлагаемый способ литья под давлением в вакууме с двумя камерами прессования позволяет уменьшить П% и повысить плотность и Г% отливок. При этом брак по негерметичности составляет не более 2–3%. Незначительное количество брака связано с усадочной П%, образующейся при переходе расплава из жидкого состояния в твердое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белопухов А. К. Газосодержание отливок при литье под давлением / А. К. Белопухов. – М. : Машиностроение, 1982. – 287 с.
2. Зеленов В. Н. Газовый режим процесса литья под давлением / В. Н. Зеленов // Литейное производство. – 1983. – № 7. – С. 17–20.
3. Швецов В. Д. Факторы эффективности вентиляционных устройств формы при литье под давлением / В. Д. Швецов // Литейное производство. – 1975. – № 5. – С. 26–28.
4. Падерин В. Н. Повышение вентилируемости пресс-форм литья под давлением с целью снижения пористости отливок / В. Н. Падерин., Е. А. Нуриев // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 11. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2008. – С. 48–54.

5. Белопухов А. К. Литье под давлением. Проблемы подпрессовки / А. К. Белопухов. – М. : Машиностроение, 1971. – 285 с.
6. Гаспарян Л. А. Влияние вакуума на газосодержание отливок и параметры процесса / Л. А. Гаспарян // Пористость в отливках, полученных литьем под давлением и мероприятия по борьбе с ней. – М. : МДНТП, 1984. – С. 6–7.
7. Падерин В. Н. Исследование системы вакуумирования пресс-форм литья под давлением в цикле прессования с контрпоршнем и механическим управлением клапаном перекрытия вентиляционной системы / В. Н. Падерин, Н. А. Изеттов, А. П. Гресько // Ученые записки Крымского государственного инженерно-педагогического института. Выпуск 3. – Симферополь : ДОЛЯ, 2002. – С. 15–19.
8. Падерин В. Н. Исследование влияния способа литья под давлением с двумя камерами прессования на пористость и герметичность отливок из алюминиевых сплавов / В. Н. Падерин, В. И. Галух // Ученые записки крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 11. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2008. – С. 54–59.
9. Пат. 29636 Украина, МПК В22D 17/22. Способ литья под давлением с двумя камерами прессования / Падерин В.Н., Галух В.И. (UA). – № u2007 08338 ; заявл. 20.07.2007 ; опубл. 25.01.2008, Бюл. № 2.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОМЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

У статті розглядаються питання забезпечення рівномірного тиску інструмента на оброблювану поверхню деталі, при обробці внутрішніх циліндричних і конічних поверхонь шліфуванням хонінгуванням в умовах повного контакту інструмента й поверхні і, як наслідок, збільшення точності обробки.

Ключові слова: оброблювана поверхня, шліфування, хонінгування, рівномірний тиск інструмента, колодка хона, балка рівного опору, рівномірне навантаження.

В статье рассматриваются вопросы обеспечения равномерного давления инструмента на обрабатываемую поверхность детали, при обработке внутренних цилиндрических и конических поверхностей шлифованием, хонингованием в условиях полного контакта инструмента и поверхности и как следствие, увеличение точности обработки.

Ключевые слова: обрабатываемая поверхность, шлифование, хонингование, равномерное давление инструмента, колодка хона, балка равного сопротивления, равномерное нагружение.

In article are considered questions of the ensuring the even pressure of the instrument on processed surface of the detail, when processing internal cylindrical and cone-shaped surfaces polishing honing in condition of the full contact of the instrument and surfaces and as effect, increase to accuracy of the processing.

Key words: processed surface, polishing, honing even pressure of the instrument, shoetree hons, beam of the equal resistance, even load.

Постановка проблеми. При обробці шліфуванням внутрішніх циліндричних і конічних поверхонь виникає проблема забезпечення рівномірного тиску інструмента на оброблювану поверхню в крайніх верхніх і нижніх положеннях інструмента, що впливає на точність обробки.

Особливо це стосується до питань хонінгування конічних поверхонь, коли хонінгувальні бруски закріплюються в головці механічно з опираючим на шарнірні опори. Це дозволяє копіювати оброблювану конічну поверхню. Існує проблема точності обробки при змінному радіусі конуса. Вона може бути вирішена різними способами. Основною з них – забезпечення рівномірного тиску бруска на оброблювану поверхню. Найпростіше ця проблема вирішується шляхом надання інструменту спеціальної форми в вигляді балки рівного опору при умові навантаження її рівномірно розподіленою навантаженням по всій довжині, контактуючої з оброблюваною поверхню.

Аналіз літератури. В роботах [1–4] наведено дані про процес хонінгування, характеристики брусков і режими обробки. Розглянуті основні типи хонінгувальних головок, системи розжиму брусков, пристосування і характеристики хонінгувальних станків для обробки зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь.

Ціль даної статті – запропонувати забезпечення рівномірного тиску шліфувального

інструмента при обробці внутрішніх циліндричних і конічних поверхонь при умові повного контакту інструмента і поверхні.

Изложение основного материала. При обробці поверхонь шліфуванням для забезпечення точності обробки немаловажне значення має забезпечення рівномірного тиску інструмента на оброблювану поверхню. В разі достаточної жорсткості інструмента і деталі питання можна вважати вирішеним, але в разі недостатньої жорсткості інструмента і деталі для забезпечення точності необхідні додаткові заходи. Це має місце при обробці циліндричних або конічних внутрішніх поверхонь деталей інструментом заданих, достатньо малих розмірів.

На рис. 1 представлена конструкція і розміщення комплекта брусков в корпусі хонінгувальної головки. Бруски встановлюються і закріплюються на колодках, які представляють собою балочки на двох опорах. В цих випадках в процесі шліфування балочки деформуються, і за рахунок цього змінюється тиск бруска на оброблювану поверхню, що призводить до збільшення розмірів, або до нерівномірного зносу інструмента. Для усунення цих проблем необхідно або виключити нерівномірне тиску інструмента, або забезпечити змінне сечення інструмента і тим самим збільшити його жорсткість, т. є. виконати конструктивні і технологічні заходи.

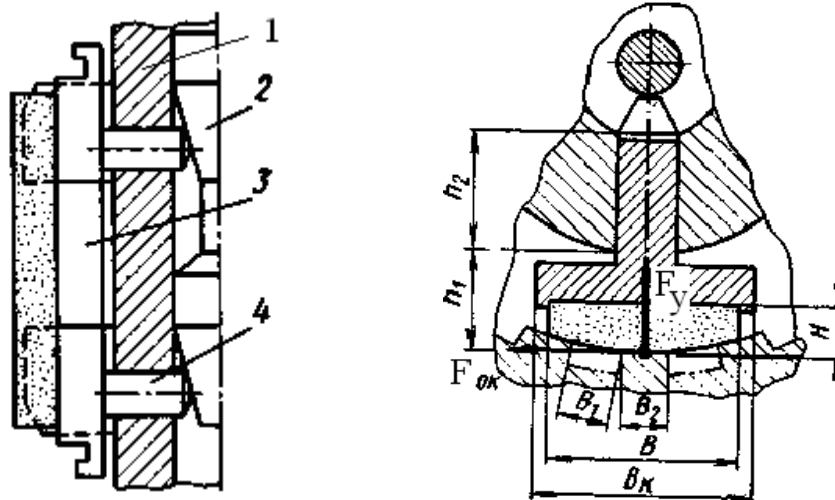


Рис. 1. Конструкция колодок: 1 – планка; 2 – разжимной конус; 3 – колодка с бруском; 4 – опорные штыри.

На наш взгляд, второй подход является более целесообразным и менее трудоемким, т. к. стандартные инструменты, применяемые для обработки внутренних поверхностей, как правило, не обеспечивают постоянное давление на поверхности инструмента и детали. В этих случаях инструмент можно представить как балку равного сопротивления, которая при равномерном внешнем давлении обеспечивает равномерное давление на обрабатываемую поверхность, за счет переменного сечения колодки по длине, и естественно, переменной жесткости.

В качестве примера рассмотрим процесс обработки внутренней конической поверхности хонингованием, т. к. этот случай наиболее чувствителен на предмет равномерного давления колодки хона на обрабатываемую поверхность в силу переменного радиуса конуса.

Рассмотрим вариант положения колодки с полным контактом по всей длине. Поставим задачу определения формы поверхности противоположной контактной с обрабатываемой поверхностью (рис. 2).

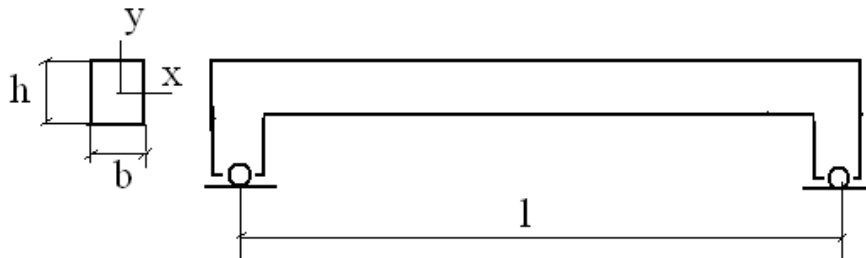


Рис. 2. Схема колодки.

Представим колодку в виде двухопорной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой $q = \text{const}$ (рис. 3).

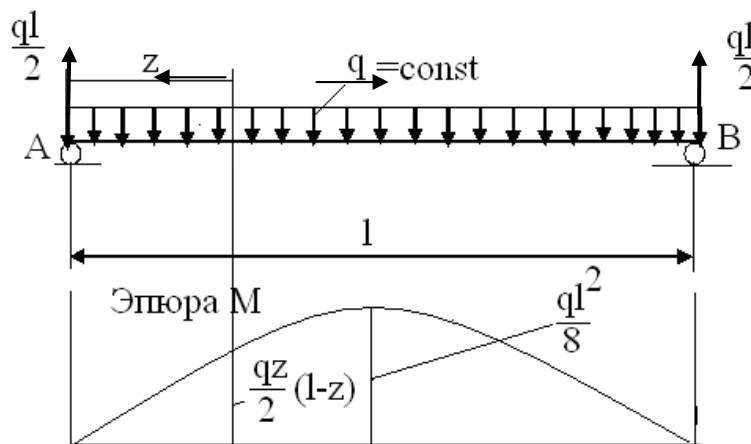


Рис. 3. Расчетная схема колодки.

Эпюра моментов строится обычным способом, и наибольший момент имеет место в середине пролета балки.

Условие прочности балки имеет вид:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma], \quad (1)$$

где σ – нормальные напряжения в текущем сечении балки;

M – изгибающий момент в текущем сечении пролета балки;

W – переменный по длине момент сопротивления сечения балки изгибу;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала колодки.

В связи с тем, что колодки обычно изготавливаются из конструкционных сталей, обладающих пластическими свойствами, в качестве допускаемых напряжений можно принять отношение предела текучести σ_T на коэффициент запаса:

$$n = 1,5 \div 2, \text{ т. е. } [\sigma] \times \frac{\sigma_T}{n}. \quad (2)$$

Соотношение размеров поперечного сечения определяется выражением момента сопротивления W . Для прямоугольного сечения колодки он имеет вид:

$$W_x = \frac{bh^2_z}{6}, \quad (3)$$

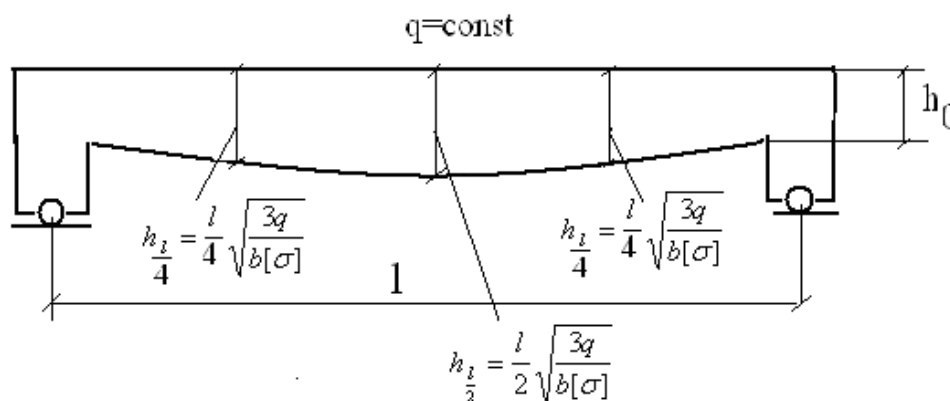


Рис. 4. Расчетная форма колодки с переменной высотой.

Выводы. Предлагаемая методика позволяет с наименьшими затратами обеспечить равномерное давление инструмента на обрабатываемую поверхность, что в итоге скажется на точности обработки при хонинговании, особенно конических отверстий различных затворов нефтегазопроводов и деталей другого назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструменты для обработки точных отверстий / [С. В. Кирсанов, В. А. Гречишников, А. Г. Схирт-

где b – стандартная ширина сечения;

h_z – переменная высота сечения для балки равного сопротивления.

Подставляя текущие значения изгибающего момента M из эпюры и (3) в условие (1), получим:

$$h_z = \sqrt{\frac{3qz(l-z)}{b[\sigma]}} \quad (4)$$

переменную по длине балки высоту сечения, которая обеспечивает равномерное давление абразивной колодки на обрабатываемую поверхность детали, т. е. $q = \text{const}$.

Начальная высота колодки на опорах выбирается из конструктивных соображений, а кривая (4) определяет значения высоты сечения по длине колодки. Например, в середине колодки, при

$$z = \frac{l}{2}, \quad h_z = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{3q}{b[\sigma]}} \quad (5)$$

Вычисляя значения h_z по длине колодки со стороны опор, получим конфигурацию переменной высоты, обеспечивающей $q = \text{const}$, т. е. постоянное давление на поверхности обрабатываемой детали.

ладзе, В. И. Кокарев]. – М. : Машиностроение, 2003. – 330 с.

2. Куликов С. И. Прогрессивные методы хонингования / С. И. Куликов, Ф. Ф. Ризванов и др. – М. : Машиностроение, 1983. – 135 с.

3. Куликов С. И. Хонингование : справочное пособие / С. И. Куликов и др. – М. : Машиностроение, 1973. – 168 с.

4. Холмогорцев Ю. П. Оптимизация процессов обработки отверстий / Ю. П. Холмогорцев. – М. : Машиностроение, 1984. – 184 с.

РАЗДЕЛ 2. АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.017

Артемов Н. П., Лебедев А. Т., Алексеев О. П.,
Волков В. П., Подригало М. А., Полянский А. С.

МЕТОД ПАРЦИАЛЬНЫХ УСКОРЕНИЙ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИКИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН (в порядке обсуждения)

Розроблено метод парціальних прискорень для дослідження динаміки мобільних машин. На прикладі експериментальної оцінки тягових й енергетичних властивостей тракторів показана ефективність застосування зазначеного методу.

Ключові слова: парціальні прискорення, принцип Даламбера, динаміка мобільних машин.

Разработан метод парциальных ускорений для исследования динамики мобильных машин. На примере экспериментальной оценки тяговых и энергетических свойств тракторов показана эффективность применения указанного метода.

Ключевые слова: парциальные ускорения, принцип Даламбера, динамика мобильных машин.

It is developed a method of partial accelerations for mobile vehicle dynamics investigation. On example of traction and power tractors properties experimental estimation the specified method application is shown.

Key words: the partial acceleration, the principle of d'Alembert, dynamic mobile machines.

Постановка проблемы. Представленный в настоящей статье материал является результатом длительной дискуссии, проводимой в кругу ученых г. Харькова, чем и объясняется значительный состав ее авторов. Решение о представлении рассматриваемого материала для публикации было вызвано желанием привлечь для участия в обсуждении широкий круг специалистов не только России, но и других стран СНГ.

При исследовании динамики мобильных машин широко используется принцип Германа-Даламбера-Эйлера, основанный на использовании так называемых сил инерции, позволяющий математически привести уравнение динамики к уравнениям статики (квазистатики). Многие авторы, забывая, что указанный принцип всего лишь математический прием и физического смысла не имеет, совершают грубые ошибки при исследовании динамики мобильных машин.

Предлагаемый метод построен на обратном переходе от векторной суммы в пространстве сил к векторной сумме в пространстве ускорений. Показан пример применения указанного метода, позволяющего упростить и ускорить проведение тяговых испытаний тракторов, а также – осуществлять диагностику их технического состояния.

Анализ последних достижений и публикаций. Принцип Даламбера выражается для материальной точки, входящей механическую систему, следующим уравнением [1]:

$$P_k^e + P_k^i + P_k^u = 0, \quad (1)$$

где $P_k^e; P_k^i$ – соответственно, сумма внешних и

внутренних сил, действующих на k -ую точку (в которые входят как активные силы, так и силы реакции);

P_k^u – сила инерции рассматриваемой k -ой точки (даламберова сила инерции).

Сила инерции была введена Даламбером как величина противоположная по знаку произведению массы точки m_k на ее ускорение \dot{V}_k , то есть

$$P_{ik} = -m_k \dot{V}_k. \quad (2)$$

В этом случае математическая запись уравнения (1) справедлива.

Многие авторы забывают о предупреждении, существующем в теоретической механике и гласящем: «Применяя принцип Даламбера, следует иметь в виду, что он, как и основной закон динамики, относится к движению, рассматриваемому по отношению к инерциальной системе отсчета.

При этом на точки механической системы, движение которой изучается, действуют только внешние P_k^e и внутренние P_k^i силы, возникающие в результате взаимодействия точек системы друг с другом и с телами, не входящими в систему, под действием этих сил точки системы и движутся с соответствующими ускорениями V_k . Силы же инерции, о которых говорится в принципе Даламбера, на движущиеся точки не действуют (иначе, согласно уравнениям (1), эти точки находились бы в покое или двигались без ускорений и тогда, как видно из равенства (2), не было бы и самих сил инерции). Введение сил инерции – это лишь прием, позволяющий со-

ставлять уравнения динамики с помощью более простых методов статики» [1, с. 36].

Некорректное применение принципа Даламбера (принципа кинетостатики) многими авторами привело к тому, что уравнение разгона автомобиля стали называть уравнением тягового баланса (равновесия) автомобиля [2; 3], а даламберову силу инерции – силой сопротивления разгону автомобиля [3; 4].

В работах по исследованию устойчивости автомобиля [5; 6] сила инерции рассматривается как движущая, вызывающая возмущенное движение. Несмотря на значительное время, прошедшее с момента выхода указанных исследований, на это обстоятельство не было обращено внимание.

Мало того, ошибочные положения продолжают повторяться в монографиях и учебниках. В одном из исследований [7] нами уже было обращено внимание на некорректность использования принципа Даламбера в работах по оценке тягово-скоростных свойств автомобилей.

Современные методы и средства мониторинга состояния мобильных машин основаны на сравнительно простых инерциальных измерительных системах, в которых используются интеллектуальные датчики ускорений. Поэтому динамический анализ скоростных свойств машинно-тракторных агрегатов заменой смешанной векторной суммы сил и ускорений в уравнениях динамики на однородную векторную сумму ускорений значительно упрощает как логику алгоритмизации обработки экспериментальных данных, так и её программно-аппаратную реализацию [8].

Не формальная математическая процедура оценки активных и реактивных сил, а преобразование данных измерений в аффинном метрическом пространстве ускорений обеспечит свойства реализуемости, различимости и управляемости встроенного испытательного комплекса.

Целью статьи является совершенствование методов анализа динамических свойств мобильных машин. Для достижения заданной цели необходимо решить задачи:

- разработать метод парциальных ускорений;

$$\bar{V}_k = \bar{i}x_k^e + \bar{j}y_k^e + \bar{k}z_k^e + \bar{i}x_k^i + \bar{j}y_k^i + \bar{k}z_k^i = \bar{i}(x_k^e + x_k^i) + \bar{j}(y_k^e + y_k^i) + \bar{k}(z_k^e + z_k^i), \quad (9)$$

где $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ – основные векторы или орты;

$\dot{x}_k^e, \dot{x}_k^i, \dot{y}_k^e, \dot{y}_k^i, \dot{z}_k^e, \dot{z}_k^i$ – модули проекций векторов парциальных ускорений на координатные оси.

Таким образом, зная величину любой составляющей уравнения (8) (силы или ускорения) можно через массу точки m_k (или тела) опреде-

Уравнение динамики поступательного движения трактора имеет вид:

$$m_T \dot{V}_T(V) = P_{\text{тяг}} - P_{\text{кр}}(V)m_T g[f(V) + f_{\text{тр}}(V)], \quad (10)$$

- на примере экспериментальной оценки тяговых и энергетических свойств тракторов показать эффективность применения указанного метода.

Изложение основного материала. Метод парциальных ускорений. Предлагаемый метод, как и принцип Даламбера, предполагает приведение уравнений динамики, но только не к уравнениям статики, а к уравнениям кинематики. И если принцип Даламбера называют принципом кинетостатики, то предлагаемый метод можно назвать принципом кинетодинамики.

Если уравнение (1) привести опять к уравнению динамики, то с учетом (2) оно примет вид:

$$m_k \dot{V}_k = P_k^e + P_k^i. \quad (3)$$

Разделив левую и правую части уравнения (3) на массу точки m_k , получим:

$$\dot{V}_k = \frac{P_k^e}{m_k} + \frac{P_k^i}{m_k}. \quad (4)$$

Отношения $\frac{P_k^e}{m_k}$ и $\frac{P_k^i}{m_k}$ представляют собой

парциальные ускорения k -ой точки механической системы, то есть

$$\dot{V}_k^e = \frac{P_k^e}{m_k}; \quad (5)$$

$$\dot{V}_k^i = \frac{P_k^i}{m_k} \quad (6)$$

и являются проявлением принципа суперпозиции в механике.

Парциальное ускорение представляет собой ускорение k -ой точки механической системы, в случае если на точку действовала бы только одна рассматриваемая сила.

Таким образом, уравнение (4) может быть представлено в виде:

$$\dot{V}_k = \dot{V}_k^e + \dot{V}_k^i. \quad (7)$$

Уравнения (1), (3) и (7) составлены для коллинеарной системы векторов. Для пространственной системы уравнение (7) примет вид:

$$\bar{V}_k = \bar{V}_k^e + \bar{V}_k^i \quad (8)$$

или

лить интересующую нас действительную силу через парциальные ускорения.

Определение тяговых и энергетических показателей машинно-тракторных агрегатов при динамических испытаниях:

где m_T – общая масса трактора;

\dot{V}_T – ускорение трактора;

$P_{\text{тяг}}$ – тяговое усилие на ведущих колесах, условно определенное для случая отсутствия потерь энергии в трансмиссии;

$P_{\text{кр.}}(V)$ – функция изменения усилия на крюке от скорости движения;

Δt – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$f(V)$ – функция изменения коэффициента сопротивления качению колес трактора от скорости;

$f_{\text{тр.}}(V)$ – условное увеличение коэффициента сопротивления качения колес трактора за счет приведенного к колесам сопротивления в транс-

$$M_T \dot{V}_T (V) \left(1 + \frac{m_{\text{пр.}}}{m_T}\right) = P_{\text{тяг}} - P_{\text{кр.}}^{\text{стат}}(V) - m_T g [f(V) + f_{\text{тр.}}(V)]. \quad (13)$$

Разделив левую и правую части уравнения (13) на m_T , получим:

$$\left(1 + \frac{m_{\text{пр.}}}{m_T}\right) \dot{V}_T (V) = \frac{P_{\text{тяг}}}{m_T} - \frac{P_{\text{кр.}}^{\text{стат}}(V)}{m_T} - g [f(V) + f_{\text{тр.}}(V)]. \quad (14)$$

Проанализируем правую часть уравнения (14). Величина

$$\dot{V}_T^{\text{св.р.}}(V) = \frac{P_{\text{тяг.}}}{m_T} \quad (15)$$

является парциальным ускорением, возникающим при разгоне трактора и отсутствии каких-либо сил кроме силы $P_{\text{тяг}}$.

Парциальное ускорение

$$\dot{V}_T^{\text{кр.}} = -\frac{P_{\text{кр.}}^{\text{стат}}(V)}{m_T} \quad (16)$$

характеризует ускорение трактора при отсутствии тяговой силы на ведущих колесах и сопротивления качению на всех колесах трактора и действии только силы $P_{\text{кр.}}(V)$.

Парциальное ускорение

$$\dot{V}_T^f(V) = -g [f(V) + f_{\text{тр.}}(V)]. \quad (17)$$

представляет собой ускорение трактора при действии только силы сопротивления качению на колесах трактора.

Таким образом, уравнение (14) можно записать в виде суммы парциальных ускорений:

$$\left(1 + \frac{m_{\text{пр.}}}{m_T}\right) \dot{V}_T (V) = \left(1 + \frac{m_{\text{пр.}}}{m_T}\right) \dot{V}_T^{\text{выб.}}(V) = \dot{V}_T^{\text{кр.}}(V) + \dot{V}_T^f(V) \leq 0. \quad (21)$$

Отсюда определим:

$$\dot{V}_T^{\text{кр.}}(V) = \left(1 + \frac{m_{\text{пр.}}}{m_T}\right) \dot{V}_T^{\text{выб.}}(V) - \dot{V}_T^f(V) = \dot{V}_T^{\text{выб.}}(V) + g [f(V) + f_{\text{тр.}}(V)]. \quad (22)$$

С учетом (16) выражение (22) позволит определить зависимость усилия на крюке от скорости:

$$\frac{P_{\text{кр.}}(V)}{m_T} = -\left(1 + \frac{m_{\text{пр.}}}{m_T}\right) \dot{V}_T^{\text{выб.}}(V) + \dot{V}_T^f(V). \quad (23)$$

Зависимость $P_{\text{кр.}}(V)$ также образуется из сово-

миссии и нарушения геометрии ходовой части машины.

$$P_{\text{кр.}}(V) = P_{\text{кр.}}^{\text{стат}}(V) + P_{\text{кр.}}^{\text{дин.}}(V), \quad (11)$$

где $P_{\text{кр.}}^{\text{дин.}}$ – динамическая компонента усилия на

крюке, $P_{\text{кр.}}^{\text{дин.}}(V) = m_{\text{пр.}} \times \dot{V}_{\text{пр.}}(V)$, (12)

$P_{\text{кр.}}^{\text{стат}}(V)$ – статическая компонента усилия на крюке;

$m_{\text{пр.}}$; $\dot{V}_{\text{пр.}}$ – масса и ускорение прицепного звена.

С учетом выражений (11) и (12) уравнение (10) при $\dot{V}_{\text{пр.}} = \dot{V}_T$ примет вид:

$$\left(1 + \frac{m_{\text{пр.}}}{m_T}\right) \dot{V}_T (V) = \dot{V}_T^{\text{св.р.}}(V) + \dot{V}_T^{\text{кр.}}(V) + \dot{V}_T^f(V) \quad (18)$$

При проведении экспериментальных исследований и наличии измерительного комплекса, обеспечивающего регистрацию и обработку продольных линейных ускорений и скоростей трактора, определение парциальных ускорений можно осуществить при свободном выбеге МТА и свободном выбеге одиночного трактора.

При свободном выбеге одиночного трактора справедливо соотношение:

$$\dot{V}_T^{\text{выб.}}(V) = \dot{V}_T^f(V) < 0. \quad (19)$$

В процессе выбега одиночного трактора от начальной скорости до полной остановки фиксируются параметры $\dot{V}_T(V)$ и рассчитывается скорость V с шагом времени Δt . Результаты заносятся в память компьютера. В результате определяется зависимость:

$$\dot{V}_T^f(V) = -g [f(V) + f_{\text{тр.}}(V)] < 0. \quad (20)$$

При выбеге машинно-тракторного агрегата уравнение (18) преобразуется к виду:

купности точек, полученных с временным шагом Δt .

Тяговую силу определим из уравнения (18) для движения МТА в тяговом режиме при выполнении технологической операции:

$$\frac{P_{\text{тяг.}}}{m_T} = \dot{V}_T^{\text{св.р.}}(V) = \left(1 + \frac{m_{\text{пр.}}}{m_T}\right) \dot{V}_T (V) - \dot{V}_T^{\text{кр.}}(V) - \dot{V}_T^f(V). \quad (24)$$

Подставляя (22) в (24), получим:

$$\frac{P_{\text{тяги}}}{m_{\text{т}}} = \left(1 + \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{т}}}\right) [\dot{V}_{\text{т}}(V) - \dot{V}_{\text{т}}^{\text{выб}}(V)]. \quad (25)$$

Поскольку величина $P_{\text{тяги}}$ соответствует тяговой силе на ведущих колесах без учета потерь на трение в трансмиссии, то появляется возможность определить эффективную мощность на валу двигателя:

$$Ne(V) = P_{\text{тяги}} V_{\text{т}} = (m_{\text{т}} + m_{\text{пр}}) V_{\text{т}} [\dot{V}_{\text{т}}(V) - \dot{V}_{\text{т}}^{\text{выб}}(V)], \quad (26)$$

где $V_{\text{т}}$ и $\dot{V}_{\text{т}}(V)$ – текущие значения линейной скорости и линейного ускорения трактора, измеряемые в процессе испытаний с шагом времени Δt .

Мощность на крюке трактора также может быть определена из (23):

$$N_{\text{кр}}(V) = P_{\text{кр}} V_{\text{т}} = m_{\text{т}} V_{\text{т}} [\dot{V}_{\text{т}}^f(V) - (1 + \frac{m_{\text{пр}}}{m_{\text{т}}}) \dot{V}_{\text{т}}^{\text{выб}}(V)]. \quad (27)$$

Тяговый КПД трактора:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{N_{\text{кр}}(V)}{N_{\text{в}}(V)} = \frac{1 + m_{\text{пр}}/m_{\text{т}}}{\dot{V}_{\text{т}}(V) - \dot{V}_{\text{т}}^{\text{выб}}(V)} \dot{V}_{\text{т}}^f(V). \quad (28)$$

Определяемые в процессе измерений параметры могут являться также диагностическими, если проследить динамику их изменения в процессе длительной наработки.

Выводы.

1. Применение принципа Даламбера при исследовании динамики мобильных машин может, в некоторых случаях, привести к ошибкам, обусловленным использованием фиктивных сил инерции. Этих ошибок можно избежать при переходе из силового пространства для векторной суммы в пространство ускорений, т. е. при приведении всех сил, действующих на машину, к парциальным ускорениям.

2. На примере экспериментальной оценки тяговых и энергетических свойств машинно-

тракторных агрегатов показаны возможности метода парциальных ускорений. Полученные зависимости позволяют не только оценить тяговые и энергетические показатели тракторов по величинам парциальных ускорений, но обеспечить диагностику их технического состояния.

3. Анализ динамических свойств машинно-тракторных агрегатов упрощается за счет использования инерциальных измерительных систем с интеллектуальными датчиками ускорений и процедур обработки результатов испытаний не в пространстве сил, а в его прообразе – аффинном метрическом пространстве ускорений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М. : Наука, 1968. – 480 с.
2. Чудаков Е. А. Теория автомобиля / Е. А. Чудаков. – М. ; Л. : Машгиз, 1940. – 396 с.
3. Яковлев Н. А. Теория и расчет автомобиля / Н. А. Яковлев. – М. : Машиностроение, 1949. – 370 с.
4. BOSH: автомобильный справочник / [пер. с англ.]. – М. : Изд-во «За рулем», 2000. – 896 с.
5. Чудаков Е. А. Устойчивость автомобиля при заносе / Е. А. Чудаков. – М. : Изд-во АН СССР, 1945. – 44 с.
6. Смирнов Г. А. Теория движения колесных машин / Г. А. Смирнов. – М. : Машиностроение, 1981. – 271 с.
7. Подригало М. А. Новый подход к оценке тягового баланса автомобиля. В порядке обсуждения / М. А. Подригало // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 18. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2009. – С. 50–54.
8. Алексеев В. О. Мониторинг динамических характеристик колесных машин / В. О. Алексеев // Устойчивость колесных машин против заноса в процессе торможения и пути ее повышения / [Подригало М. А., Волков В. П., Алексеев В. О. и др.] ; под ред. М. А. Подригало. – Харьков : ХНАДУ, 2006. – С. 288–342.

УДК 621.91.192.4

Менумеров Э. Р., Якубов Ч. Ф.

ПОВЫШЕНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ СМАЗОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРИРОДЫ ПУТЕМ ИХ ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ

В роботі розглядається можливість підвищення окислюваної стійкості мастила для металообробки на основі рослинних олій добавками антиоксидантів. Вибрано ефективний антиоксидант для рослинних олій – вітамін Е (α-токоферол). Також експериментально знайдено необхідна та достатня кількість антиоксидантів в соняшникової олії.

Ключові слова: рослинна олія, полімеризація, окислювана стійкість, антиоксидант, α-токоферол.

В работе рассматривается возможность повышения окислительной стойкости масел на растительной основе путем введения в их состав антиокислительных присадок. Выбран эффективный

антиоксидант для растительных масел – витамин Е (α -токоферол). Также экспериментально найдено необходимое и достаточное количество антиоксидантов в подсолнечном масле.

Ключевые слова: растительное масло, полимеризация, окислительная стойкость, антиоксидант, α -токоферол.

The opportunity of increase of oxidizing stability of vegetable oils is considered with the help anti-oxidants. The choice optimum anti-oxidant for metalworking fluids is made on the basis of vegetable oils. In research was used anti-oxidant α -tocopherol. Also practically is proved necessary and sufficient quantity anti-oxidant in sunflower oil, as basic oil for metalworking fluids.

Key words: vegetable oils, polymerization, oxidizing stability, anti-oxidant, α -tocopherol.

Постановка проблемы. Рост техногенной нагрузки на окружающую среду обуславливает переход предприятий машиностроительного профиля к экологически ориентированным производственным процессам. Данное обстоятельство формирует поиск новых решений в области разработки, эксплуатации и утилизации смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС). С этих позиций обозначилась мировая тенденция использования СОТС на основе растительных масел. Относительно высокая стоимость последних компенсируется минимизацией их расхода и модификацией состава различными присадками, которые способствуют повышению их функциональных свойств.

Анализ литературы. В процессе эксплуатации растительных масел в качестве СОТС выявляется ряд недостатков, одним из которых является их низкая окислительная стойкость. С одной стороны, при повышенных температурах трибологические характеристики растительных масел значительно ухудшаются, что обусловлено процессами термоокислительной деструкции [1; 2]. С другой, СОТС на основе растительных масел попадая на узлы станка, инструмент, деталь, стружку и т. д. с течением времени высыхают и требуют проведения специальных мероприятий по очистке загрязненных поверхностей [3].

Существует ряд решений данной проблемы. Одним из них является возможность получения стойких к окислению растительных масел путем изменения их состава на основе генной инженерии [5]. В этом случае состав масел изменяется в сторону увеличения количества насыщенных кислот и снижения количества ненасыщенных, где последние интенсифицируют процессы их полимеризации. Во втором – повышение окислительной стойкости растительных масел достигается путем добавления различных присадок, таких как глицерин или антиоксиданты [6; 7].

Антиоксиданты (АО) – природные или синтетические вещества, замедляющие или предотвращающие окисление органических соединений. Это ингибиторы окисления, предотвращающие химическую реакцию масла с кислородом в условиях высоких температур и перемешивания. Ингибиторы такого типа либо связывают сво-

бодные радикалы, в частности ионы молекулы кислорода или атома металла, либо взаимодействуют с пероксидами, замедляя процесс роста вязкости масла вследствие его окисления [8].

Предлагаемые методы генной инженерии слишком дороги и изменение состава масел приводит к изменению их трибологических свойств. Добавление глицерина к маслам требуется в больших количествах (до 15%), что приводит к повышению их стоимости и ухудшению их трибологических свойств (уменьшается содержание ПАВ в виде триглицеридов). В этом плане присадки на основе антиоксидантов представляются оптимальным решением проблемы окислительной стойкости. Однако большинство предлагаемых антиоксидантов являются токсичными [9–11].

Целью статьи является исследование возможности повышения окислительной стойкости СОТС на основе растительных масел путем модификации их базового состава оптимальным содержанием антиокислительной присадки жирорастворимого витамина Е (α -токоферола).

Изложение основного материала. Процесс термоокислительной деструкции для различных растительных масел протекает по-разному. В зависимости от вида масла термоокислительная деструкция может проявляться в виде полимеризации (высыхания масла с образованием пленки) или разложения масла на составные компоненты. Причиной термоокислительной деструкции является взаимодействие растительных масел с кислородом воздуха.

Так, растительные масла по отношению к действию кислорода воздуха разделяются на высыхающие, полувсыхающие и невысыхающие.

К высыхающим растительным маслам относятся льняное, маковое, ореховое, конопляное, подсолнечное, соевое, древесное (тунговое) и др. К полувсыхающим относятся хлопковое, маисовое, рапсовое, масло липового дерева и др. К невысыхающим – миндальное, касторовое, оливковое, кокосовое, пальмовое, фисташковое и многие другие. Для высыхающих растительных масел характерна полимеризация с образованием нерастворимой пленки. Полувсыхающие растительные масла также полимеризуются,

но с меньшей скоростью. Невысыхающие масла не реагируют с кислородом при обычной температуре, однако при нагревании разлагаются на глицерин и свободные жирные кислоты, которые в дальнейшем разлагаются на низкомолекулярные кислоты и альдегиды.

Процесс полимеризации растительных масел заключается в соединении молекул остатков жирных кислот, входящих в состав растительных масел, друг с другом при помощи ковалентных связей с образованием новых веществ (полимера), молекулярная масса которого значительно больше, чем у исходных. Полимеризация характерна, главным образом, для соединений с кратными (двойными или тройными связями). Ненасыщенные жирные кислоты, входящие в состав высыхающих и полувысыхающих растительных масел, имеют кратные связи. Однако способность масел к полимеризации зависит не только от количества двойных связей, но и от их

расположения. Механизм и скорость окислительной полимеризации (на которые в свою очередь влияют температура и наличие катализатора) будут зависеть от сопряженности или изолированности систем двойных связей друг от друга. Катализаторами могут выступать ионы молекулы кислорода и кислород, находящийся в оксидах металлов, с которым контактирует масло, а также сами ионы металлов.

В процессах полимеризации соединение двух молекул формируется либо через углерод – углеродную связь C–C, либо через кислород с образованием простой эфирной R–O–R или перекисной R–O–O–R группы. Наличие в молекулах масла нескольких двойных связей, ведет к объединению большего количества молекул. Схема, представленная на рис. 1, поясняет образование полимеров с пространственной структурой, что сопровождается загустеванием, переходящим в затвердевание.

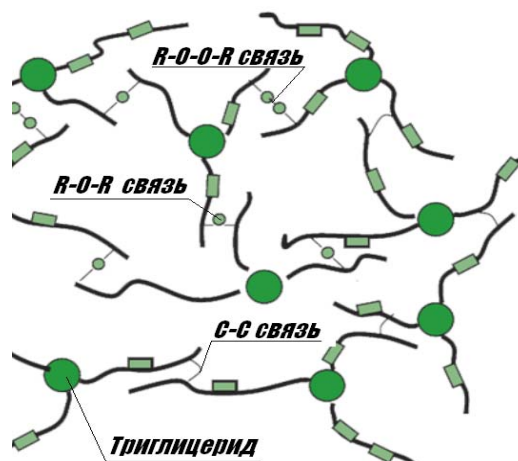


Рис. 1. Схема пространственной структуры, образующейся при окислительной полимеризации высыхающего растительного масла.

На схеме видно, что в результате раскрытия двойных связей кислородом множество молекул триглицеридов, соединяясь друг с другом, образуют одну макромолекулу.

Таким образом, эффективность использования растительных масел при повышенных температурах снижается из-за пленкообразующих процессов происходящих под влиянием кислорода воздуха.

На сегодняшний день наиболее оптимальным способом предотвращения окислительной деструкции при высоких температурах является введение в составы растительных масел антиокислительных присадок (антиоксидантов).

Механизм действия АО обеспечивается обрывом реакционных цепей. Так, взаимодействие молекул АО с активными радикалами приводит к образованию устойчивых радикалов. Уже незначительное количество (0,01–0,001%) АО снижает скорость окисления, при этом продукты

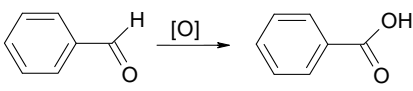
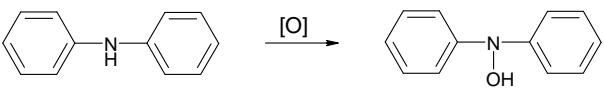
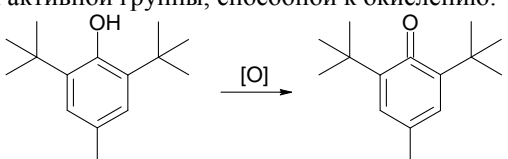
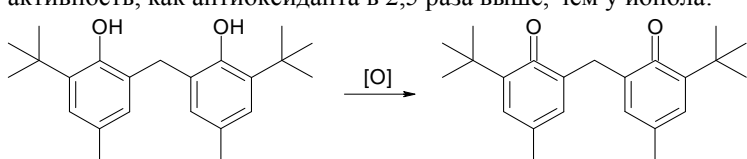
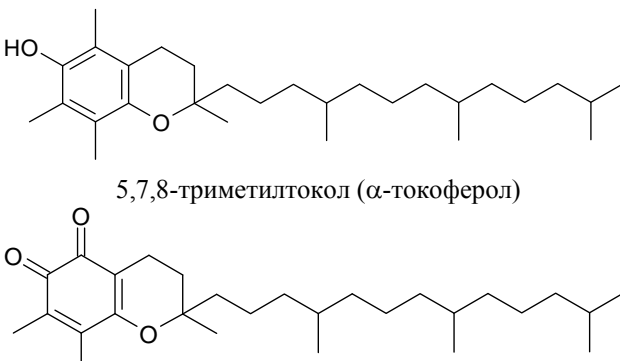
окисления не обнаруживаются. При введении АО в состав растительного масла в первую очередь происходит их химическая реакция с кислородом или активными радикалами, т. е. ингибируется процесс полимеризации масла. С течением времени, исчерпав свой ресурс антиокислительной способности (т. е. полностью окислившись), АО перестают выполнять свою восстановительную функцию.

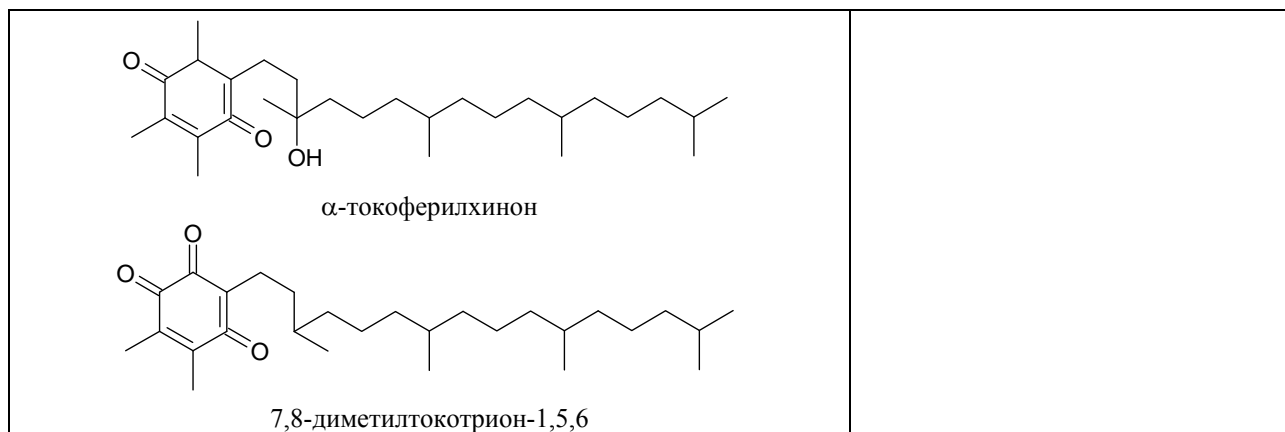
Наиболее распространенными антиокислительными присадками являются бензойный альдегид, ароматические амины, ионол, стабилизатор-2246, витамин Е (α -токоферол).

С целью выбора оптимального АО для модифицирования составов экологически чистых СОТС растительной природы был произведен анализ их антиокислительной способности и безвредности для человеческого организма и окружающей среды. Обобщенные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Сравнительный анализ различных присадок по антиокислительной способности и токсичности для человеческого организма.

Антиоксиданты и схематический процесс их окисления	Токсичность
1	2
<p><i>Бензойный альдегид</i> после окисления превращается в бензойную кислоту. В малых количествах и альдегид, и кислота применяются в качестве консервантов. Обладает только одной активной группой, способной к окислению:</p> 	<p>Токсичен. Раздражает глаза и верхние дыхательные пути при 10 секундном воздействии уже 0,015 мг/л. Раздражение слизистой оболочки носа замечается при первом же вдохе 0,1 мг/л [10].</p>
<p><i>Ароматические амины</i>, в частности, дифениламин:</p> 	<p>Ядовиты. Клиническая картина симптомов: - головные боли, исхудание; - пищеварительное расстройство; - расстройство мочеотделения; - кожные заболевания; - раздражение слизистых оболочек [10].</p>
<p><i>Ионол</i> (2,6-дитретбутил-4-метилфенол) в результате окисления превращается в ароматический кетон (2,6-дитретбутил-4-метилфенилкетон). Его действие [14] как антиоксиданта относительно слабое (в 2,5 раза слабее, чем у стабилизатора 2246), что обусловлено наличием только одной активной группы, способной к окислению:</p> 	<p>Не токсичен.</p>
<p><i>В стабилизаторе 2246</i> [2,2'-метилден-бис (4-метил-6-третбутилфенол)] две активные группы, способные к окислению, вследствие чего его активность, как антиоксиданта в 2,5 раза выше, чем у ионола:</p> 	<p>Не токсичен.</p>
<p><i>Витамин E (α-токоферол)</i> природный жирорастворимый АО, содержит фенольное кольцо с системой сопряженных двойных связей. Имеет четыре активные группы:</p>  <p>5,7,8-триметилтокол (α-токоферол)</p> <p>О-ТОКОХИНОН</p>	<p>Не токсичен.</p>



Как видно из приведенного анализа, наиболее подходящим реагентом из всех рассмотренных АО является витамин Е (α-токоферол). В составе данного АО содержится четыре активные группы, склонные к процессу окисления. Кроме того, в присутствии свободных радикалов витамин Е способен к димеризации (образованию новых веществ), восстанавливая их при этом до нереакционноспособных частиц. Наряду с этим витамин Е термостабилен и устойчив в присутствии кислорода даже при температуре 200°C, являясь абсолютно безвредным для человеческого организма и окружающей среды [8]. Способность же витамина Е после окисления проявлять свойства поверхностно-активных веществ, что связано с появлением кислорода в фенольном кольце, в свою очередь благоприятно сказывается на трибологических характеристиках растительных масел смешанных с данным АО.

Итак, можно предположить, что витамин Е, обладая значительными антиокислительными свойствами (не уступая дорогим синтетическим), является абсолютно безвредным и полностью отвечает критериям экологической направленности данных научных исследований.

Начальным этапом исследований влияния АО на окислительную стойкость растительных масел было определение оптимального количества АО в растительном масле. В качестве растительного масла использовалось подсолнечное как наиболее распространенное в Украине (95% в общем объеме всех растительных масел), а именно образец чистого подсолнечного масла и смеси подсолнечного масла с АО в пропорциях от 1 до 10%. Затем образцы масла каждой смеси наносились тонким слоем на стандартные стекла при помощи валика. Подготовленные образцы сушились при температуре 170 ± 5°C (для ускорения процесса полимеризации). Процесс сушки контролировали прокатыванием по поверхности образца металлического шарика. Скорость пленкообразования определялась временем от мо-

мента нанесения слоя растительного масла до момента, когда шарик не оставляет следа при прокатывании. Результаты исследований отображены в виде гистограммы (рис. 2).

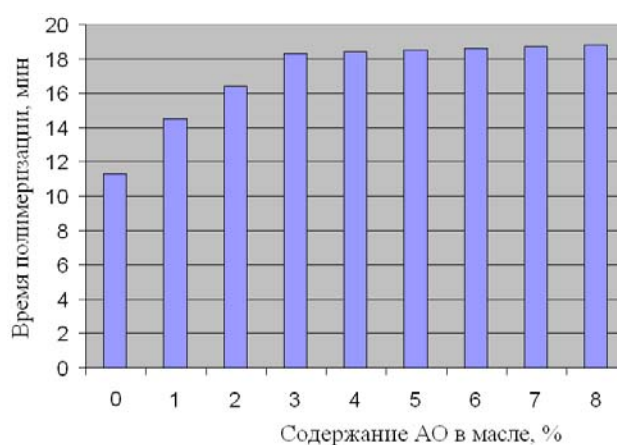


Рис. 2. Время полимеризации различных смесей подсолнечного масла с АО.

Из проведенных исследований видно, что необходимым и достаточным является 3%-ное содержание витамина Е в подсолнечном масле. Повышение количества антиоксиданта не приводит к заметному увеличению времени индукции.

По сравнению с чистым подсолнечным маслом время торможения процесса окисления 3%-ной смесью масла с АО составило около 7 мин.

Вывод. На основе экспериментальных исследований и их теоретического анализа показана возможность повышения окислительной стойкости СОТС на основе растительных масел путем модификации их базового состава оптимальным содержанием антиокислительной присадки жирорастворимого витамина Е (α-токоферол).

ЛИТЕРАТУРА

1. Якубов Ч. Ф. Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч. Ф. Якубов. – Симферополь, 2008.
2. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / [под. ред. А. И. Грабченко]. – Харьков : ХГТУ, 1999. – 436 с.

3. Herdan J. M. Rolling fluids based of vegetables oils / J. M. Herdan // Einsatz in der spanenden Fertigungstechnik. – Stuttgart. – 2001. – P. 194–195.
4. Binggeli M. New ester based metalworking fluids / M. Binggeli // Einsatz in der spanenden Fertigungstechnik. – Stuttgart. – 2001. – P. 198–210.
5. Совершенствование функциональных свойств СОТС на основе растительных масел / Д. У. Абдулгасис, Ф. Я. Якубов, У.А. Абдулгасис, И. Э. Аметов // Ученые записки Крымского государственного инженерно-педагогического университета. Выпуск 4. – Симферополь : Доля, 2003. – С. 9–14.
6. Halliwell B. Antioxidant defense mechanisms: from the beginning to the end (of the beginning) / B. Halliwell // Free Radical Research. – 1999. – P. 175–187.
7. Глинка Н. Л. Общая химия / Н. Л. Глинка. – Л. : Химия, 1986. – 272 с.
8. Беззубов Л. П. Химия жиров / Л. П. Беззубов. – М. : Пищевая промышленность, 1975. – 279 с.
9. Высыхание или полимеризация? [Электронный ресурс] / В. Г. Сысюк, А. С. Бубнова, Н. Г. Угро, Л. И. Зель, Н. А. Тимченко // Полимеры-Деньги. – 2006. – № 6 (20). – Режим доступа к журналу : <http://polymers-money.com/journal/onlinejournal/2006/december/dryup-ore-poly/>
10. Вредные вещества в промышленности / [под ред. Н. В. Лазарева]. – Ленинград, 1963.
11. Колотилова А. И. Витамины (химия, биохимия и физиологическая роль) / А. И. Колотилова, Е. П. Глушанков. – Л. : Изд-во Ленинградского университета, 1976. – 248 с.

УДК 629.113

Подзноев Г. П., Абдулгасис У. А.

ОСОБЕННОСТИ ТЕМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ДВУХТАКТНОГО Н-ДИЗЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЮМОГИДРИДНОГО ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ И ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

У статті розглянута можливість використання в автомобілях двотактного двигуна, що працює на алюмогідридному енергоносії з пероксидом водню в якості окислювача замість повітря і регенерацією теплоти зворотною водою. Показана технічна можливість спрощення системи виведення відпрацьованої парової фази. Значна економічність двотактного двигуна і його висока екологічність.

Ключові слова: двотактний ДВС, газообмін та продування циліндра, альтернативний енергоносії, гідрид алюмінію, пероксид водню, регенерація теплоти, термодинамічні параметри.

В статье рассмотрена возможность использования в автомобилях двухтактного двигателя, работающего на алюмогидридном энергоносителе с пероксидом водорода в качестве окислителя вместо воздуха и регенерацией теплоты оборотной водой. Показана техническая возможность упрощения системы вывода отработанной паровой фазы. Обоснована значительная экономичность двухтактного двигателя и его высокая экологичность.

Ключевые слова: Двухтактный ДВС, газообмен, продувка цилиндра, альтернативный энергоноситель, гидрид алюминия, пероксид водорода, регенерация теплоты, термодинамические параметры.

The possibility of using a two-cycled motor in automobile that works on aluminum hydride energy carrier with peroxide hydrogen as an oxidizer in stead of air and regeneration of heat of recycled water is considered in the article. The technical possibility of simplification of the withdrawal system of worked out vapor phase is displayed herein. Sufficient economical operation of two-cycled motor and its high ecological features are substantiated as well.

Key words: two-cycled engine, gas exchange scavenge of cylinder, alternative energy carrier, aluminum hydride peroxide hydrogen, heat regeneration, thermodynamic parameters.

Постановка проблеми. Практически все современные автомобили оснащены четырехтактными двигателями, в которых два такта являются рабочими, а в остальные два происходит выпуск отработавших газов и впуск свежего заряда. То есть один поворот коленчатого вала из двух является по своей сути насосным, но на его совершение тратится энергия рабочего хода, время и ресурс двигателя. Этих недостатков лишен двухтактный двигатель, в котором рабочий цикл в каждом из цилиндров совершается за один оборот коленчатого вала, то есть за два хода поршня. Такты сжатия и рабочего хода в

двухтактном двигателе происходят так же, как и в четырехтактном, а процессы очистки и наполнения цилиндров, то есть процессы газообмена, совмещены и осуществляются не в рамках отдельных тактов, а за короткое время, когда поршень находится вблизи нижней мертвой точки. Из этого следует, что двухтактный двигатель более прост в конструкции. Кроме этого, мощность двухтактного двигателя, при одинаковых размерах цилиндра и частоте вращения вала, теоретически в два раза больше четырехтактного за счет в два раза большего числа рабочих тактов. Из этого следует, что использование

двухтактных ДВС на автомобилях позволит значительно уменьшить вес, упростить конструкцию двигателя и его размеры без потери мощности.

Анализ литературы. В настоящее время двухтактные двигатели используются лишь на мотоциклах, моторных лодках, как пусковые двигатели на тракторах, в поршневой (например, двигатели «Юнкерс»), в устаревших типах тепловозов (двигатели серии Д100), а так же в бронетанковой технике (двигатели 5ТДФ танка Т-64 и 6ТД танков Т-80УД и Т-84) и на тепловозах [1]. Их основной недостаток связан с более высоким расходом топлива, недостаточным наполнением горючей смеси из-за плохой очистки цилиндров от отработавших газов, затраты части вырабатываемой мощности на продувку и неполным сгоранием топлива.

В двухтактных двигателях газообмен выполняется за счет подачи в цилиндр рабочей смеси или воздуха (в дизелях) под давлением, создаваемым продувочным насосом. По способу организации движения потоков продувочного воздуха (смеси) различают двухтактные двигатели с контурной и прямоточной продувкой.

При контурной продувке поток воздуха (смеси) движется вдоль внутренней поверхности цилиндра и его головки, повторяя их контур. Впускные и выпускные окна в стенках цилиндра расположены в его нижней части. Их открытие и закрытие осуществляется с помощью поршня. Простота такой продувки с использованием подпоршневого пространства в качестве продувочного насоса обеспечила широкую распространенность подобных двигателей.

При прямоточной продувке поток воздуха или топливной смеси движется без изменения направления вдоль оси цилиндра. Управление открытием и закрытием продувочных и выпускных окон производится с применением специальных устройств в виде клапанного механизма, установленного в головке цилиндра. Через него происходит выпуск отработавших газов.

При прямоточной продувке качество очистки цилиндра от остаточных газов более высокое, чем при контурной. Поскольку открытие (и закрытие) выпускных и продувочных органов осуществляется различными элементами двигателя, подбор оптимальных фаз газораспределения не вызывает затруднений. Как правило, в двигателях с прямоточной продувкой выпускной клапан закрывается раньше продувочного, что исключает потерю свежего заряда и позволяет осуществлять дозарядку с повышением давления (то есть наддув).

На небольших бензиновых двухтактных двигателях роль продувочного насоса выполняет

подпоршневое пространство (кривошипная камера). Такая конструкция предельно проста, так как не требует отдельного продувочного агрегата, что способствовало ее преимущественному распространению. Однако в этом случае невозможно разместить в картере масляную ванну, и приходится подавать масло вместе с топливом, что приводит к значительному расходу масла, дымному выхлопу и образованию нагара в цилиндре.

Кроме того, в многоцилиндровых двигателях необходимо отделять кривошипные камеры друг от друга, что требует применения сложных уплотнительных устройств и разборного коленчатого вала с существенной потерей его жесткости.

На крупногабаритных многоцилиндровых двухтактных двигателях продувочный воздух или топливная смесь сжимается в отдельном компрессоре (турбокомпрессоре), что в значительной степени устраняет указанные выше недостатки. Улучшить характеристики двухтактных двигателей дает возможность применение системы впрыска топлива вместо карбюратора.

В целом двухтактные двигатели в сравнении с четырехтактными имеют следующие существенные преимущества:

- менее громоздки системы газораспределения;
- имеют более высокую мощность в пересчете на 1 литр рабочего объема;
- конструктивно проще и дешевле в изготовлении;
- меньший удельный вес двигателя при одинаковой мощности.

К их значимым недостаткам следует отнести сравнительно высокий расход топлива и масла, а также недостаточное наполнение горючей смеси из-за плохой очистки цилиндров от отработавших газов.

Цель статьи – обосновать возможность применения двухтактных дизелей на автомобилях с сохранением их преимуществ (особенно в части увеличения мощности) при ограничении присущих им недостатков в варианте использования алюмогидридного энергоносителя и пероксида водорода в качестве окислителя.

Изложение основного материала. Возможность и преимущества использования гидроксида алюминия в качестве энергоносителя и пероксида водорода вместо кислорода воздуха обосновывалось в ранее опубликованных работах [2–4] применительно к традиционным вариантам дизельных двигателей автомобилей.

В алюмогидридном варианте топливо предлагается генерировать в специальном генераторе путем гидролиза гидроксида алюминия (AlH_3) оборотной конденсированной водой, дополнительно нагретой теплом отходящих газов. При этом

образуется высоконагретая паро-водородная смесь, находящаяся под повышенным давлением. В таком состоянии смесь подается в рабочий цилиндр при нахождении поршня около нижней мертвой точки (НМТ). Далее следует адиабатное сжатие и воспламенение водорода кислородом, но не содержащемся в воздухе, а как продукта термической диссоциации пероксида водорода, впрыскиваемого в цилиндр в жидкой фазе. В этом случае из процесса исключается балластный азот и рабочим телом становится высоконагретый монокомпонентный водяной пар. После адиабатного расширения паровая фаза удаляется из рабочего цилиндра в выпускной коллектор. В конструкцию последнего включен трубчатый теплообменник и конденсатор. Сконденсированные пары насосом высокого давления подаются во внутренний контур теплообменника и далее направляются на гидролиз.

В продолжение развития этих исследований представляет интерес рассмотрение особенностей идеального термодинамического дизельного цикла в варианте использования принципа двухтактного двигателя. Поскольку составной

частью топливной смеси и отработанной газовой фазы в этом случае являются пары воды, то не имеет особого принципиального значения остаточная доля отработанных водяных паров при их вытеснении паро-водородной топливной смесью. Подача последней в цилиндр осуществляется, когда поршень приближается к НМТ. В этот момент открываются коллектора, куда вытесняется отработавшая паровая фаза. Последний перекрывается при подъеме поршня к началу процесса адиабатного сжатия.

Время подачи паро-водородной топливной смеси в этом случае рассчитывается таким образом, чтобы коллектор перекрывался поршнем в момент, когда в цилиндре еще остается небольшая часть отработанной паровой фазы. В этом случае исключаются потери водородной части топливной смеси. Основным условием при этом должно быть превышение давления в гидролизном генераторе по сравнению с таковым в цилиндре при приближении поршня к НМТ.

Таким образом, описанный термодинамический цикл в варианте двухтактного Н-Дизеля будет выглядеть следующим образом (рис. 1).

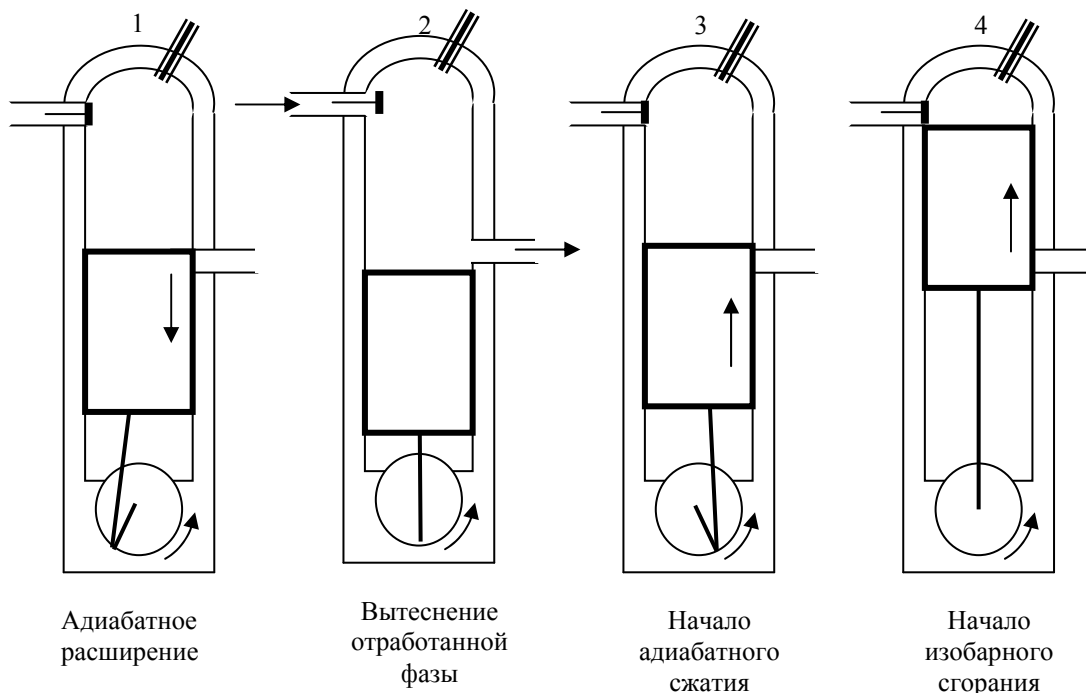


Рис. 1. Принципиальная схема работы двухтактного двигателя.

1. В генератор водорода подается эмульсионная фаза гидроксида алюминия и обратная конденсатная вода. В результате реакции гидролиза по схеме: $2\text{AlH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2$ выделяется 13,2 кДж теплоты из 1г AlH_3 . Температура паро-водородной фазы в этом случае достигает 700–750 К при давлении 0,2–0,25 МПа, содержания избыточной воды в пределах 3–4 г на один цикл и регенерации теплоты 80–85%.

2. В момент приближения поршня к нижней мертвой точке и открытия им выпускного коллектора открывается впускной клапан в верхней части камеры сгорания и в цилиндр вводится паро-водородная смесь (позиция 1–2). За период прохождения поршнем нижней мертвой точки и его подъема до положения перекрытия выпускного коллектора происходит вытеснение отработанной паровой фазы вводимой топливной

паро-водородной смесью из гидролизного генератора.

3. При движении к верхней мертвой точке (ВМТ) поршень перекрывает выпускной коллектор, и в этот момент закрывается впускной клапан. Далее осуществляется адиабатное сжатие топливной паро-водородной смеси (позиция 3–4). Температура последней при этом повышается до 1400–1600 К, а давление в камере сгорания – до 9,0–10,0 МПа.

4. В момент достижения поршнем ВМТ (позиция 4) в камеру сгорания впрыскивается пероксид водорода (H_2O_2) в количестве, достаточном для изобарного сжигания водорода кислородом, высвобождающимся при термической диссоциации пероксида по схеме: $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2 + Q$. При этом выделяется теплота в количестве до 35–40% от теплоты сгорания водорода с дополнительным введением воды от диссоциации пероксида. Таким образом, рабочее тело в описываемом процессе представлено только водяным паром с температурой 1500–1800 К и давлением, адекватным концу адиабатного сжатия и изобарного сгорания.

5. Под действием давления паровой фазы поршень движется вниз, выполняя механическую работу адиабатного расширения рабочего тела (позиция 1). При своем движении вниз к НМТ поршень открывает выход в выпускной коллектор для вывода из цилиндра отработавшей паровой фазы (позиция 2). Непосредственно перед этим открывается впускной клапан в верхней части рабочего цилиндра, и в него вводится паро-водородная топливная смесь из гидролизного генератора.

Для получения давления паро-водородной топливной смеси на впуске в цилиндр выше такового в момент открытия выпускного коллектора объем камеры гидролиза должен быть несколько меньше объема рабочего цилиндра или процесс гидролиза имеет изначально более высокое стартовое давление паро-водородной фазы.

На приведенной схеме видно, что нет необходимости в отдельном продувочном насосе, что упрощает конструкцию двигателя и систему управления продувкой. В общем виде термодинамический цикл двухтактного дизеля на алюмогидридном энергоносителе с пероксидным окислителем адекватен таковому четырехтактного Н-Дизеля, детально рассмотренного в ранее проведенных исследованиях [4].

Различие заключается в том, что за счет исключения двух насосных ходов поршня на выталкивание отработавшей паровой фазы и впуска свежего топливного заряда мощность двигателя в двухтактном варианте удваивается при сохранении всех расходных пропорций, вводи-

мых в процесс компонентов. Учитывая, что в топливной смеси, подаваемой в процесс, и в отработанных продуктах сгорания существенно преобладает водяной пар, снимается ряд недостатков двухтактных углеводородных двигателей – потери части топливных компонентов при вытеснении отработавших газов и повышенный расход топлива. В то же время сохраняются отмеченные выше преимущества двухтактников.

В табл. 1 приводятся сравнительные характеристики традиционного углеводородного дизеля и двухтактного Н-Дизеля на алюмогидридном энергоносителе с пероксидным окислителем и регенерацией теплоты.

Таблица 1.

Численные значения параметрических характеристик четырехтактных традиционного и двухтактного Н-Дизеля.

Цикл	Дизель	Двухтактный Н-дизель
$m_{\text{топ}}$	0,114	0,04
$m_{H_2O_2}$	–	0,136
H_2O	–	4г
ε	17	20
$q_{\text{гидрол}}$	–	530
$q_{\text{реген}}$	–	1500
$q_{\text{дисс}}$	–	357
$q_{\text{сгор}}$	–	960
q_1	5083	3329
q_2	2192	1746
q_3	–	246
t_2	298	634
t_3	780	1423
t_4	2190	1529
t_5	1182	617
t_6	–	329
p_2	1,0	2,13
p_{3-4}	44,5	96,6
p_5	4,0	2,1
η_t	0,569	0,926
Работа	2890	3083

Как показало проведенное упрощенное сравнительное математическое моделирование, для рассматриваемого варианта дизельного двигателя устанавливаются следующие особенности.

1. При использовании алюмогидридного энергоносителя и пероксида водорода в качестве окислителя вместо воздуха и регенерации теплоты имеют место более мягкие термические условия работы цилиндра двигателя без снижения количества выполняемой работы.

2. Суммарная теплота, вводимая в цикл двухтактного Н-Дизеля складывается из теплоты гидролиза AlH_3 (16%), термической диссоциации пергидроля (10,5%), сгорания водорода (28,5%) и регенерируемой теплоты (45,0%). Таким образом, на долю основного энергоносителя

водорода приходится меньше трети общего теплового баланса цикла.

3. Существенное повышение коэффициента полезного использования теплоты двухтактного Н-Дизеля обусловлено вводом в рабочий цилиндр теплоты гидролиза с повышенным давлением перед адиабатным сжатием, добавочной водой на гидролиз и количеством регенерированной теплоты.

4. Если принять условную емкость для топлива 150 дм³, то в ней вместится 120 кг дизтоплива или 220,5 кг гидрида алюминия с энергопотенциалом 5060 и 8250 МДж соответственно. В традиционном четырехтактном Дизеле при условно принятых объеме цилиндра 2,4 дм³, 2000 об./мин. и расходе 0,114 г дизтоплива на один цикл его запаса хватит на 8,77 часов работы. При адекватной по объему емкости запаса алюмогидрида будет достаточно на 45,9 час, т. е. пробег автомобиля при одинаковой объемной заправке гидрида алюминия возрастает в 5,24 раза по сравнению с дизелем или почти в 10,5 раз в сравнении со сжатым до 35 МПа водородом в моделях на топливных элементах.

Учитывая, что в двухтактном двигателе при адекватном объеме топлива мощность практически удваивается, то при одинаковой базовой мощности, расход топлива соответственно сократится также примерно в два раза. В данном случае двухтактный двигатель на алюмогидридном энергоносителе с пероксидным окислителем и регенерацией теплоты сможет прорабо-

тать теоретически более чем в десять раз дольше, чем традиционный четырехтактный дизель.

Выводы. Предлагаемый тип двухтактного дизельного двигателя имеет существенные преимущества как с точки зрения его эксплуатационных характеристик, так и с точки зрения экологической безопасности.

Задачей последующих исследований является разработка проекта стендовых испытаний на базе модернизированного дизельного двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнение и принцип работы двухтактного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.scooter-tronix.ru/dvig.php.
2. Подзноев Г. П. Возможности повышения эффективности термодинамического цикла Дизеля путем использования альтернативного энергоносителя / Г. П. Подзноев, У. А. Абдулгазис // Двигатели внутреннего сгорания / НТУ «ХПИ». – Харьков, 2007. – Вып. 1. – С. 87–91.
3. Подзноев Г. П. Термодинамические особенности регенеративного цикла Н-дизеля с использованием энергоносителя на основе гидрида алюминия / Г. П. Подзноев, У. А. Абдулгазис // Двигатели внутреннего сгорания / НТУ «ХПИ». – Харьков, 2008. – Вып. 2. – С. 13–18.
4. Подзноев Г. П. Возможности использования пероксида водорода в качестве окислителя в двигателях внутреннего сгорания. / Г. П. Подзноев, У. А. Абдулгазис // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 20. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2009. – С. 15–21.

УДК 629.017

Подригало М. А., Байцур М. В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ ПО УСЛОВИЯМ СКОРОСТНОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ

Визначено потрібну потужність двигуна автомобіля при русі по міських дорогах і міжміських трасах. Розглянуто режими руху автомобіля на заданій швидкості й при розгоні.

Ключові слова: динаміка автомобіля, приємність, вибір потужності двигуна.

Определена потребная мощность двигателя автомобиля при движении по городским дорогам и междугородным трассам. Рассмотрены режимы движения автомобиля на заданной скорости и при разгоне.

Ключевые слова: динамика автомобиля, приемистость, выбор мощности двигателя.

It is defined needed automobile engine power at movement on city roads and long-distance lines. Modes of automobile movement on the set speed and at acceleration are considered.

Key words: dynamics of the car, pick-up, the choice of engine power.

Постановка проблемы. В последние годы мы наблюдаем появление значительного количества моделей легковых автомобилей, имеющих очень высокие значения удельной мощности. Это объясняется необходимостью обеспе-

чения высокой динамичности (приемистости) автомобилей в стесненных условиях городского транспортного потока.

В связи с существующими реалиями возникает проблема разработки методики выбора

мощности двигателя на стадии проектирования автомобиля с учетом обеспечения требуемой максимальной скорости движения при загородном цикле и высокой динамичности в городском ездовом цикле.

Анализ последних достижений и публикаций. Существующая методика определения проектной мощности двигателей [1; 2] автомобилей базируется на определении максимальной мощности сил сопротивления движению.

При отсутствии ограничителей частоты вращения коленчатого вала двигателя расчетная точка силовой характеристики автомобиля соответствует точке силового баланса на высшей передаче при $V = V_{\max}$ (V_{\max} – максимальная скорость автомобиля, являющаяся исходной при проектировании).

Реализация максимальной скорости движения автомобиля наиболее вероятна на междугородних магистралях, и поэтому режимы движения с максимальными скоростями называют загородными.

Представляет интерес определение перспектив роста максимальных конструктивных скоростей движения и ускорений автомобиля (особенно на низших передачах).

Цель статьи – определить потребную мощность двигателя автомобиля при движении по городским дорогам и междугородным трассам.

Для достижения указанной цели необходимо определить потребную удельную мощность двигателя при движении автомобиля на заданной скорости (при динамическом силовом балансе) и при разгоне в условиях движения на городских дорогах (при малых линейных скоростях и высоких линейных ускорениях движения автомобиля).

Изложение основного материала.

Определение удельной мощности двигателя при движении с постоянной скоростью. Мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления движению автомобиля, составит:

$$N_c = V_a(P_\psi + P_w), \quad (1)$$

где V_a – линейная скорость автомобиля;
 P_ψ – сила суммарного дорожного сопротивления;

$$P_\psi = \psi \times m_a \times g, \quad (2)$$

где ψ – коэффициент суммарного дорожного сопротивления;

m_a – общая масса автомобиля;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

P_w – сила аэродинамического сопротивления

$$P_w = k \times F \times V_a^2, \quad (3)$$

$$N_{\text{уд}}^{\max} = 161 \psi g [1 - \exp(-0,328\lambda)] + 4,2 \times 10^6 \frac{kF}{m_a} [1 - \exp(-0,328\lambda)]^3. \quad (10)$$

где $k \times F$ – фактор сопротивления воздуха (k – коэффициент сопротивления воздуха, F – мидель).

Подставляя выражения (2) и (3) в (1) и учитывая, что

$$N_c = N_k = \eta_{\text{тр}}^{\text{стат}} \times N_e, \quad (4)$$

где N_k – мощность двигателя, приведенная к ведущим колесам автомобиля;

$\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}}$ – статический КПД трансмиссии, учитывающий потери на трение и взбалтывание масла в картерах агрегатов трансмиссии;

N_e – эффективная мощность, развиваемая двигателем,

получим:

$$\frac{\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}} \times N_e}{m_a} = \psi g V_a + \frac{k \times F}{m_a} \times V_a^3. \quad (5)$$

Требуемая (максимальная) удельная мощность двигателя реализуется при $V_a = V_{\max}$:

$$\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}} \times N_{\text{уд}}^{\max} = \psi g V_{\max} + \frac{k \times F}{m_a} \times V_{\max}^3. \quad (6)$$

С ростом V_{\max} величина $N_{\text{уд}}^{\max}$ возрастает пропорционально V_{\max}^3 , т. е. по кубической параболе. Для того чтобы прогнозировать рост удельных мощностей двигателей легковых автомобилей по условию движения в загородном цикле, нужно знать тенденции роста V_{\max} .

Прогноз роста конструктивных скоростей легковых автомобилей проведен в работе [1]. Нами в работе [3] проведена математическая обработка результатов [1] и получено аналитическое выражение:

$$V_{\max} = 582 \{1,043 - \exp[-(0,382 \pm 0,14)\lambda]\}, \text{ км/ч.} \quad (7)$$

При измерении скорости движения V_{\max} в м/с и проведении упрощений выражение (7) можно представить в виде:

$$V_{\max} = 161 \times [1 - \exp(-0,382\lambda)], \quad (8)$$

где λ – относительное время, определяемое как [2]:

$$\lambda = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\Gamma_3 - \Gamma_2}, \quad (9)$$

где Γ_1 – год, для которого определяется параметр V_{\max} ;

Γ_2 – год, от которого условно ведется отсчет времени, принимаем $\Gamma_2 = 1900$;

Γ_3 – год, от которого проводился анализ, $\Gamma_3 = 2000$.

Подставляя (8) в (6), получим:

Принимая для асфальтированного шоссе $\psi = 0,017$ [2] и $\frac{kF}{m_a} = 3 \times 10^{-4} \text{ м}^{-1}$ (допустимый уровень для легковых и грузовых автомобилей [2]), можно определить зависимость $N_{уд}^{\max}(\lambda)$ (рис. 1).

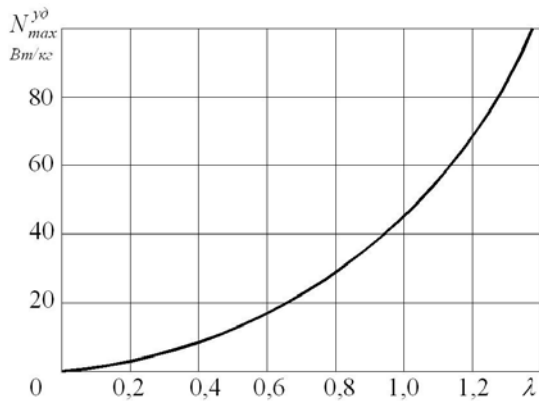


Рис. 1. Зависимость $N_{уд}^{\max}(\lambda)$ для легковых автомобилей.

На рис. 2 представлена диаграмма роста удельных мощностей двигателей, необходимых для движения легковых автомобилей с максимальной скоростью.

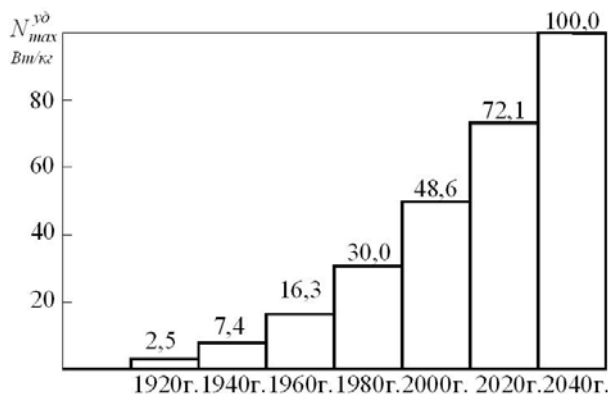


Рис. 2. Диаграмма роста удельной мощности двигателя, необходимой для движения легковых автомобилей с максимальной скоростью.

Для городского транспорта движение легкового автомобиля со скоростью $V_a = 8 \text{ м/с}$ (28,8 км/ч) необходимая удельная мощность двигателя из уравнения (5) при тех же исходных данных $\psi = 0,017$; $\frac{kF}{m_a} = 0,0003 \text{ м}^{-1}$ будет составлять примерно 1,5 Вт/кг, т. е. незначительную величину. Очевидно, что для городского цикла необходимо иметь запас мощности двигателя для реализации требуемого уровня ускорений.

Определение удельной мощности двигателя для реализации требуемых ускорений автомобиля. В работе [4] нами получено уравнение динамики автомобиля:

$$\delta_{тр} m_a \frac{dV_a}{dt} = \Sigma P_c (K_d - 1), \quad (11)$$

где ΣP_c – суммарная сила сопротивления движению:

$$\Sigma P_c = P_\psi + P_w; \quad (12)$$

K_d – коэффициент динамичности автомобиля [4], равный отношению суммарной тяговой силы автомобиля P_k к суммарной силе сопротивления движению ΣP_c .

Величина $K_d - 1$ характеризует запас мощности двигателя на разгон автомобиля с ускорением $\frac{dV_a}{dt}$ (в дальнейшем будем обозначать эту величину \dot{V}_a). Умножив левую и правую части (11) на \dot{V}_a , получим с учетом (4):

$$\delta_{тр} m_a V_a \dot{V}_a = N_{ер} \eta_{тр}^{\text{стат}}. \quad (13)$$

Величина, обратная $\delta_{тр}$, по сути является коэффициентом, учитывающим потери энергии двигателя на разгон вращающихся масс трансмиссии и двигателя, т. е. [5]:

$$\frac{1}{\delta_{тр}} = \eta_{тр}^{\text{дин}}, \quad (14)$$

где $\eta_{тр}^{\text{дин}}$ – динамический КПД трансмиссии.

Из выражения (13) определим запас удельной мощности двигателя, необходимый для разгона автомобиля от скорости V_a с ускорением \dot{V}_a (в начальный момент разгона):

$$\eta_{тр}^{\text{общ}} \times N_{уд}^p = \frac{N_{ер}}{m_a} \eta_{тр}^{\text{общ}} = V_a \dot{V}_a, \quad (15)$$

где $\eta_{тр}^{\text{общ}}$ – общий КПД трансмиссии:

$$\eta_{тр}^{\text{общ}} = \eta_{тр}^{\text{стат}} \times \eta_{тр}^{\text{дин}}. \quad (16)$$

Начальное увеличение мощности двигателя $\Delta N_e = N_{ер}$ приводит к появлению линейного ускорения \dot{V}_a , приводящего к разгону автомобиля от скорости V_a до скорости V_{a1} , при которой возросшее аэродинамическое сопротивление реализует динамический силовой баланс.

Определим это увеличение скорости ($\Delta V_a = V_{a1} - V_a$) и исследуем выявление влияния различных факторов на указанную величину.

Уравнение мощностного баланса автомобиля при движении со скоростью V_a имеет вид (5).

При уменьшении мощности двигателя на величину ΔN_e :

$$\eta_{тр}^{\text{стат}} \frac{\Delta N_e}{m_a} \psi g (V_{a1} - V_a) + \frac{kF}{m_a} (V_{a1}^3 - V_a^3), \quad (17)$$

или

$$\eta_{тр}^{\text{стат}} \Delta N_{уд} = \psi g \Delta V_a + \frac{kF}{m_a} \times [3V_a^2 \Delta V_a + 3V_a (\Delta V_a)^2 + (\Delta V_a)^3]. \quad (18)$$

Из уравнения (18) приращение удельной мощности двигателя:

$$\Delta N_{уд} = \frac{g\Psi \Delta V_a + \frac{kF}{m_a} \left[3V_a^2 \Delta V_a + 3V_a (\Delta V_a)^2 + (\Delta V_a)^3 \right]}{\eta_{тр}^{стат}} \quad (19)$$

Из уравнения (15) определим:

$$\frac{N_{еп}}{m_a} = \frac{V_a \dot{V}_a}{\eta_{тр}^{общ}} \quad (20)$$

Приравнивая правые части (19) и (20), получим после преобразований:

$$(V_a)^3 + 3V_a (\Delta V_a)^2 + \left(3V_a^2 + \frac{m_a g\Psi}{kF} \right) \Delta V_a - \frac{m_a}{kF \eta_{тр}^{дин}} V_a \dot{V}_a = 0. \quad (21)$$

Если пренебречь величинами $(\Delta V_a)^3$ и $(\Delta V_a)^2$, то выражение (21) упрощается и примет вид:

$$\left(3V_a^2 + \frac{m_a g\Psi}{kF} \right) \Delta V_a - \frac{m_a}{kF \eta_{тр}^{дин}} V_a \dot{V}_a = 0. \quad (22)$$

Из выражения (22) определим ΔV_a :

$$\Delta V_a = \frac{V_a \dot{V}_a}{\left(3 \frac{kF}{m_a} V_a^2 + g\Psi \right) \eta_{тр}^{дин}} \quad (23)$$

Условие максимума функции (23):

$$\frac{d(\Delta V_a)}{dV_a} = 0; \quad (24)$$

$$\frac{d^2(\Delta V_a)}{dV_a^2} < 0 \text{ – при оптимальном значении } V_a.$$

Максимум функции (23) реализуется при

$$(V_a)_{опт} = \sqrt{\frac{\Psi g m_a}{3kF}} \quad (25)$$

$$\text{При } \psi = 0,017; \frac{kF}{m_a} = 0,0003 \text{ м}^{-1}, \eta_{тр}^{дин} = 0,85$$

получим $V_a = 13,61 \text{ м/с}$ (49 км/ч).

На рис. 3 (кривая 1) приведен график зависимости $\Delta V_a(V_a)$, описываемой выражением (23) при указанных исходных данных.

$$3V_a (\Delta V_a)^2 + \left(3V_a^2 + \frac{m_a g\Psi}{kF} \right) \Delta V_a - \frac{m_a}{kF \eta_{тр}^{дин}} V_a \dot{V}_a = 0. \quad (26)$$

Решение квадратного уравнения (26) относительно ΔV_a имеет вид (с учетом корня, имеющего физический смысл):

$$\Delta V_a = 0,5 \left(V_a + \frac{m_a g\Psi}{3V_a kF} \right) \left[\sqrt{1 + \frac{m_a V_a}{3kF \eta_{тр}^{дин} \left(V_a + \frac{m_a g\Psi}{3kF V_a} \right)^2} - 1} \right] \quad (27)$$

Максимум функции (27) также определяется из условия (24) и также реализуется при $(V_a)_{опт}$ определяемой из уравнения (25). На рис. 3 (кривая 2) приведен график зависимости $\Delta V_a(V_a)$, описываемой выражением (27) при указанных выше исходных данных. На рис. 3 (кривая 3) приведен график зависимости $\Delta V_a(V_a)$, получен-

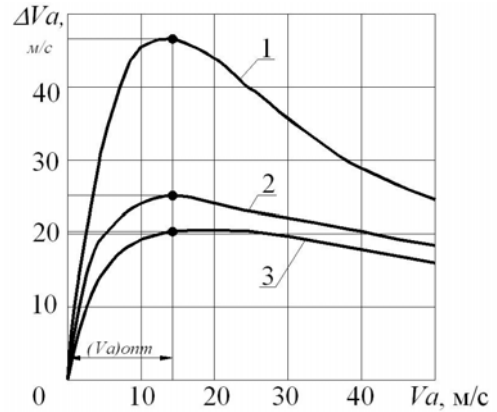


Рис. 3. Графики зависимостей $\Delta V_a(V_a)$ при $\psi = 0,017$; $\frac{kF}{m_a} = 0,0003 \text{ м}^{-1}$, $\eta_{тр}^{дин} = 0,85$: 1 – зависимость (23); 2 – зависимость (27); 3 – численное решение кубического уравнения (26).

Если пренебречь только влиянием $(\Delta V_a)^3$, то выражение (21) примет вид:

ный на основе численного решения уравнения (21) при $\psi = 0,017$; $\frac{kF}{m_a} = 0,0003 \text{ м}^{-1}$, $\eta_{тр}^{дин} = 0,85$. Сравнение характера протекания кривых 1, 2, 3, приведенных на рис. 3, показывает, что при точном численном решении уравне-

ния (26), представляющего собой уравнение третьей степени относительно ΔV_a , кривая 3 также имеет максимум, точка которого совпадает с точками максимума кривых 1 и 2. Это означает, что зависимость (25) может использоваться для определения $(V_a)_{\text{опт}}$, т. е. линейной скорости автомобиля, при которой обеспечивается получение максимального значения $(V_a)_{\text{max}}$ при заданном значении \dot{V}_a . Изменение скорости автомобиля ΔV_a , обусловленное созданием начального ускорения \dot{V}_a , характеризует маневренность автомобиля, т. е. способность изменения скорости движения [4].

$$\Delta V_a = 0,5K_{\text{попр}} \left(V_a + \frac{m_a g \Psi}{3V_a kF} \right) \sqrt{1 + \frac{m_a \dot{V}_a}{3kF \times \eta_{\text{тр}}^{\text{дин}} \left(V_a + \frac{m_a g \Psi}{3kF V_a} \right)^2} - 1}. \quad (28)$$

При движении в городском цикле мощность двигателя расходуется на преодоление сил сопротивления в режиме силового баланса и на создание требуемых начальных ускорений автомобиля, реализующих его маневренность при разгоне. Учитывая зависимости (5) и (15), определяем потребную мощность двигателя в динамическом режиме движения:

$$N_e = N_{ec} + N_{ep} = m_a V_a \left(\frac{\Psi g + \frac{kF}{m_a} V_a^2}{\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}}} + \frac{\dot{V}_a}{\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}}} \right), \quad (29)$$

где N_{ec} – мощность двигателя, расходуемая на преодоление сил сопротивлению движения:

$$N_{ec} = \frac{N_c}{\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}}}. \quad (30)$$

Если допустить, что скорость движения автомобиля равна $(V_a)_{\text{опт}}$, т. е. скорости, соответствующей получению максимальной маневренности автомобиля при разгоне, то выражение (29) с учетом (25) примет следующий вид:

$$N_e = m_a \sqrt{\frac{\Psi g m_a}{3kF}} \left(\frac{4\Psi g}{3\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}}} + \frac{\dot{V}_a}{\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}}} \right). \quad (31)$$

Максимальное значение начального ускорения \dot{V}_a автомобиля ограничено и определяется зависимостью [4]:

$$V_{a_{\text{max}}} = K_{\text{сц}} \Psi g - \frac{kF}{m_a} V_a^2, \quad (32)$$

где $K_{\text{сц}}$ – коэффициент использования сцепного веса автомобиля в тяговом режиме.

При $V_a = (V_a)_{\text{опт}}$ зависимость (32) с учетом (25) примет вид:

$$\dot{V}_a = g(\phi K_{\text{сц}} - \Psi/3). \quad (33)$$

Кривая 3 на рис. 3 проходит на незначительном расстоянии от кривой 2 и подобна ей по форме. Схожесть полученных кривых позволяет использовать зависимость (27) с поправочным коэффициентом для описания взаимосвязи (V_a) со скоростью движения V_a и параметрами \dot{V}_a , $\frac{kF}{m_a}$, Ψ , $\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}}$.

В нашем случае среднее значение поправочного коэффициента составляет $K_{\text{попр}} = 0,85$. Тогда зависимость (27) примет вид:

После подстановки (33) в (31), получим расчетную мощность двигателя:

$$(N_e)_{\text{расч}} = m_a g \sqrt{\frac{\Psi g m_a}{3kF}} \left[\frac{K_{\text{сц}} \phi}{\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}}} + \frac{\Psi(4\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}} - \eta_{\text{тр}}^{\text{стат}})}{3\eta_{\text{тр}}^{\text{общ}}} \right]. \quad (34)$$

Расчетная удельная мощность двигателя:

$$(N_{\text{уд}})_{\text{расч}} = g \sqrt{\frac{\Psi g m_a}{3kF}} \left[\frac{K_{\text{сц}} \phi}{\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}}} + \frac{\Psi(4\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}} - \eta_{\text{тр}}^{\text{стат}})}{3\eta_{\text{тр}}^{\text{общ}}} \right]. \quad (35)$$

Принимая $\Psi = 0,017$; $\frac{kF}{m_a} = 0,0003 \text{ м}^{-1}$; $K_{\text{сц}} =$

$0,5$; $\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}} = 0,94$; $\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}} = 0,9$, получим $(N_{\text{уд}})_{\text{расч}} = 59,16 \text{ Вт/кг}$. Сравнивая полученный результат с данными, приведенными на рис. 1, делаем вывод о том, что указанная удельная мощность соответствует прогнозу на 2010 г. роста удельных мощностей двигателей, обеспечивающих движение автомобилей с максимальной конструктивной скоростью.

Определим скорость автомобиля $(V_a)_N$, при которой потребная мощность двигателя имеет экстремальное значение. Выражение (29) с учетом (32) при $\dot{V}_a = V_{a_{\text{max}}}$ примет вид:

$$N_e = \frac{m_a \Psi g V_a + kF V_a^3}{\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}}} + \frac{K_{\text{сц}} \phi g m_a - kF V_a^3}{\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}}}. \quad (36)$$

Из условия $\frac{dN_e}{dV_a} = 0$ получим:

$$(V_a)_N = \sqrt{\frac{m_a g \Psi}{3kF}} \sqrt{\frac{\eta_{\text{тр}}^{\text{дин}} + \frac{K_{\text{сц}} \phi}{\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}}}}{\eta_{\text{тр}}^{\text{стат}} - \eta_{\text{тр}}^{\text{дин}}}}. \quad (37)$$

Из условия (36) определим:

$$\frac{d^2 N_e}{dV_a^2} = 6V_a kF \left(\frac{1}{\eta_{тр}^{стат}} - \frac{1}{\eta_{тр}^{дин}} \right). \quad (38)$$

Условием существования скорости $(V_a)_N$ является

$$\eta_{тр}^{стат} > \eta_{тр}^{дин}. \quad (39)$$

При выполнении условия (39) правая часть уравнения (38) отрицательная. Это означает, что скорость $(V_a)_N$ соответствует максимальному расходу мощности двигателя в режиме реализации предельных сил сцепления в контакте ведущих колес с дорогой.

При выбранных нами параметрах $\eta_{тр}^{стат} = 0,9$ и $\eta_{тр}^{дин} = 0,94$ скорость $(V_a)_N$ отсутствует.

Выводы.

1. Полученные аналитические выражения позволяют осуществлять выбор мощности двигателей легковых автомобилей на стадии проектирования с учетом движения с максимальной скоростью на междугородних трассах (скоростной режим) и в городских условиях с максимальными ускорениями (динамический режим).

2. В городском (динамическом) режиме движения определена рациональная скорость движения $(V_a)_{опт}$, обеспечивающая получение

максимального приращения ΔV_a скорости автомобиля при заданном значении начального ускорения \dot{V}_a .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярещенко Н. В. Довгострокове прогнозування швидкостей руху на автомобільних дорогах : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.11 / Н. В. Ярещенко ; Харківський державний автомобільно-доріжний технічний університет. – Харків, 1999. – 16 с.
2. Бортницкий П. И. Тягово-скоростные качества автомобилей / П. И. Бортницкий, В. И. Задорожный. – К. : Вища школа, 1978. – 176 с.
3. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / [М. А. Подригало, В. П. Волков, В. И. Кирчатый, А. А. Бобошко] ; под ред. М. А. Подригало. – Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2003. – 403 с.
4. Динамика автомобиля / [М. А. Подригало, В. П. Волков, А. А. Бобошко, В. А. Павленко, В. Л. Файст, Д. М. Клец, В. В. Редько] ; под ред. М. А. Подригало. – Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2008. – 424 с.
5. Квалиметрия, стандартизация и унификация тормозного управления колесных машин / [М. А. Подригало, В. П. Волков, Д. В. Абрамов, М. В. Байцур, В. А. Павленко, Н. М. Подригало, Ю. В. Тарасов, В. Л. Файст] ; под ред. М. А. Подригало. – Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2007. – 446 с.

УДК 629.3.017.3

Подригало М. А., Абдулгасис А. У., Клец Д. М.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕПОДВИЖНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО КОЛЕСА С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Розглянуто модель взаємодії нерухомого автомобільного колеса з опорною поверхнею, навантаженого тільки вертикальною силою. Визначено залежність, що характеризує розподіл сили стиснення шини в плямі контакту.

Ключові слова: деформація шини, пляма контакту, радіальна жорсткість, погонне навантаження.

Рассмотрена модель взаимодействия неподвижного автомобильного колеса с опорной поверхностью, нагруженного только вертикальной силой. Определена зависимость, характеризующая распределение силы сжатия шины в пятне контакта.

Ключевые слова: деформация шины, пятно контакта, радиальная жесткость, погонная нагрузка.

A model of the interaction of the stationary car wheel with the bearing surface, which is loaded by vertical force. The dependence that characterizes the distribution of compression forces in the fire contact patch.

Key words: deformation of the fire contact patch, the radial stiffness, linear load.

Постановка проблемы. Взаимодействие колеса с опорной поверхностью определяет многие эксплуатационные свойства автомобилей. Несмотря на большое количество исследований, посвященных указанной проблеме, и наличие большого количества расчетных моделей до сих пор остается неясной физическая природа механических процессов взаимодействия колеса с

опорной поверхностью. Большинство авторов исследований рассматривают указанные процессы при качении колеса. На наш взгляд, переход к рассмотрению процесса взаимодействия катящегося колеса с опорной поверхностью должен происходить после получения модели контакта неподвижного колеса с дорогой, нагруженного только вертикальной силой.

Анализ литературы. Примером успешного моделирования стационарного движения колеса являются результаты исследования А. С. Федосова, приведенные в работе [1].

Автором указанного исследования использован так называемый феноменологический подход [2], суть которого при рассмотрении любого явления заключается в том, что предмет изучения представляется в виде некоего «черного ящика», поведение и свойства которого определяются его внешними характеристиками.

Напряжения в контакте неподвижного колеса с дорогой рассмотрены в работе [3]. Авторами исследования получены эпюры давлений в продольной и средней поперечной плоскостях контакта шины с дорогой. Однако в указанной работе не выявлены аналитические зависимости, позволяющие распределение контактной нагрузки.

Таким образом, в известных работах не получена модель контакта неподвижного автомобильного колеса с дорогой.

Цель статьи – построить модели взаимодействия неподвижного автомобильного колеса с дорогой. Для достижения указанной цели необходимо определить распределенную погонную нагрузку вдоль пятна контакта шины с дорогой и силу продольного сжатия периферийной части шины в пятне контакта.

Изложение основного материала.

Определение погонной нагрузки в пятне контакта. Для решения поставленной задачи используем феноменологический подход и примем допущение о том, что рабочая поверхность шины является цилиндрической. Если возникнет необходимость определения контактных давлений и напряжений, то погонная распределенная нагрузка будет исходным параметром при рассмотрении напряженного состояния пятна контакта в поперечной плоскости.

На рис. 1 приведена расчетная схема статического нагружения в продольной плоскости неподвижного автомобильного колеса, находящегося на недеформируемой опорной поверхности.

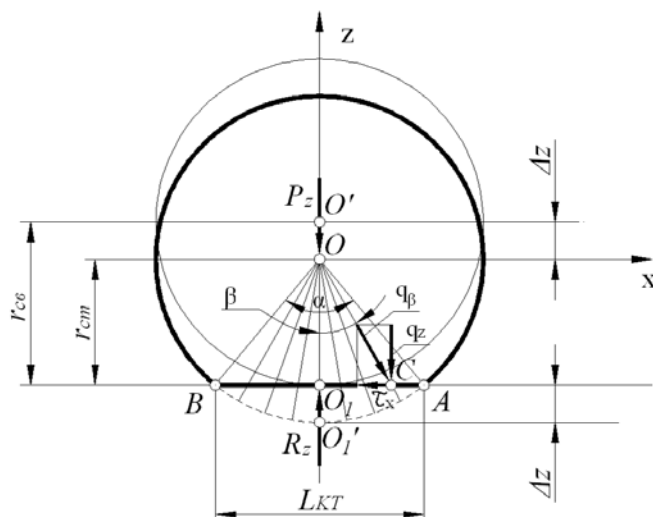


Рис. 1. Схема статического нагружения неподвижного колеса в продольной плоскости.

При приложении вертикальной нагрузки P_z к оси колеса происходит постепенное увеличение вертикальной деформации от нуля до Δz .

Вертикальная нагрузка и деформация колеса связаны между собой соотношением:

$$\Delta z = \frac{P_z}{C_z}, \quad (1)$$

где C_z – радиальная жесткость шины.

В процессе деформации шины происходит сжатие ее периферийной части, которую при моделировании можно представить в виде упругой ленты, нагруженной с одной стороны силами упругости в шине, а с другой – распределенной нагрузкой от опорной поверхности.

Со стороны дороги на ленту действуют распределенная нормальная нагрузка q_z и распределенная сила трения τ_x . В каждой точке (напри-

мер, в точке С – см. рис. 1) между указанными параметрами существует связь:

$$\tau_x = \mu q_z, \quad (2)$$

где μ – коэффициент трения между шиной и опорной поверхностью.

Если допустить, что при сжатии шины в пятне контакта силы трения достаточны для того, чтобы предотвратить проскальзывание элементов шины относительно дороги, то относительное сжатие шины в направлении оси X будет равно (см. рис. 1):

$$\Delta L_{\max} = AB - AB = r_{cb} \left(\alpha - 2 \sin \frac{\alpha}{2} \right), \quad (3)$$

где r_{cb} – свободный радиус шины; α – центральный угол окружности радиусом r_{cb} , соответствующий теоретической длине пятна контакта L_{KT} .

Теоретическая длина пятна контакта шины с дорогой:

$$L_{\text{кт}} = 2r_{\text{св}} \sin \frac{\alpha}{2} = L_{\text{кт min}}. \quad (4)$$

При отсутствии трения между шиной и дорогой, а также сил упругости шины максимально возможная (гипотетическая) длина пятна контакта:

$$L_{\text{кт max}} = r_{\text{св}} \alpha. \quad (5)$$

Очевидно, что

$$\Delta L_{\text{max}} = L_{\text{кт max}} - L_{\text{кт min}}. \quad (6)$$

Предельная суммарная сила трения в пятне контакта:

$$T_{x \text{ max}} = \mu R_z. \quad (7)$$

Погонная сила упругости шины в текущей точке C , вызванная ее деформацией, равна:

$$\begin{aligned} q_{\beta} &= C_p \Delta r = C_p (AO - OC) = \\ &= C_p \left(r_{\text{св}} - \frac{r_{\text{ст}}}{\cos \beta} \right) = C_p r_{\text{св}} \left(1 - \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} \right), \end{aligned} \quad (8)$$

где C_p – коэффициент жесткости шины в радикальной плоскости, проходящей через точку C ; Δr – изменение радиуса шины в точке C ; $r_{\text{ст}}$ – статический радиус колеса,

$$r_{\text{ст}} = r_{\text{св}} \cos \frac{\alpha}{2}; \quad (9)$$

β – угловая координата точки C .

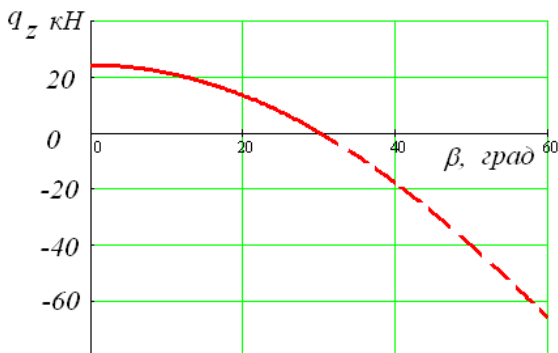
Вертикальная и горизонтальная составляющие погонной силы упругости:

$$q_z = q_{\beta} \cos \beta = C_p r_{\text{св}} \left(\cos \beta - \cos \frac{\alpha}{2} \right). \quad (10)$$

$$q_x = q_{\beta} \sin \beta = C_p r_{\text{св}} \left(\sin \beta - \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \beta \right). \quad (11)$$

Суммарная вертикальная реакция дороги:

$$R_z = \int_{-\frac{\alpha}{2}}^{+\frac{\alpha}{2}} q_z r d\beta = r_{\text{св}} \cos \frac{\alpha}{2} \int_{-\frac{\alpha}{2}}^{+\frac{\alpha}{2}} \frac{q_z}{\cos \beta} d\beta \quad (12)$$



После подстановки выражения (10) в (12) и интегрирования получим:

$$R_z = C_p r_{\text{св}}^2 \cos \frac{\alpha}{2} \left(\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \right). \quad (13)$$

Поскольку $|R_z| = |P_z|$, то, учитывая выражение (1), определим из условия:

$$C_z \Delta z = C_p r_{\text{св}}^2 \cos \frac{\alpha}{2} \left(\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (14)$$

величину

$$C_r = C_z \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{r_{\text{св}} \cos \frac{\alpha}{2} \left(\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \right)}. \quad (15)$$

При получении соотношения (15) учитывалось, что $\Delta z = r_{\text{св}} - r_{\text{ст}} = r_{\text{св}} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$.

После подстановки (15) в (10) и (11) получим:

$$q_z = C_z \frac{\left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \left(\frac{\cos \beta}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)}{\alpha - 2 \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}} \quad (17)$$

$$q_x = C_z \frac{\left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) \left(\frac{\sin \beta}{\cos \frac{\alpha}{2}} - \operatorname{tg} \beta \right)}{\alpha - 2 \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}}. \quad (18)$$

При $\beta = \pm \alpha/2$ величины $q_x = 0$ и $q_z = 0$.

На рис. 2 приведены графики зависимости (17) и (18) для шины 175-70 R13 ($C_z = 10^6$ Н/м).

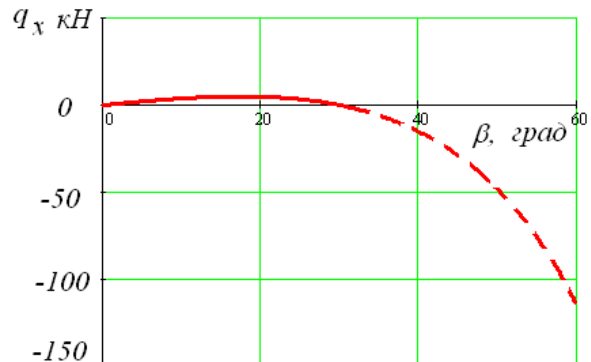


Рис. 2. Вертикальная и горизонтальная составляющие погонной силы упругости.

Определение силы продольного сжатия периферийной части шины в пятне контакта.

На рис. 3 приведена расчетная схема нагружения элемента шины в пятне контакта.

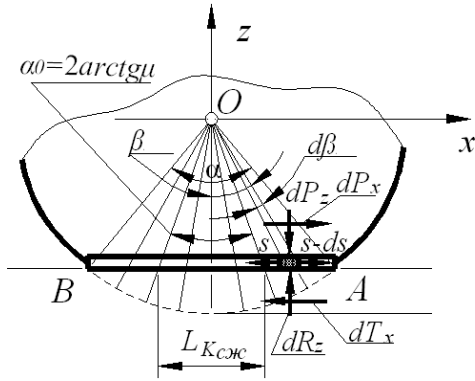


Рис. 3. Схема нагружения элемента шины в пятне контакта.

Учитывая, что $dP_z = -dR_z$ и $dP_x = -dT_x$, составим уравнение равновесия элемента шины (см. рис. 3)

$$S - dS + dP_x - dT_x - S = 0, \quad (19)$$

откуда получим:

$$dS = -(dT_x - dP_x), \quad (20)$$

где S – сила натяжения ленты (сжатия периферийной части шины).

В формуле (20):

$$dT_x = \mu dR_z = \mu q_z r_{св} \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} d\beta \quad (21)$$

$$dP_x = q_x r_{св} \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} d\beta. \quad (22)$$

Подставляя выражения (21) и (22) в (20), получим с учетом выражений (10) и (11):

$$dS = -C_z r_{св} \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{\left(\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \right)} \left(1 - \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} \right) \times (\mu - \operatorname{tg} \beta) d\beta. \quad (23)$$

Анализ дифференциального уравнения (23) показывает, что при $\beta = \pm \alpha/2$ и $\beta = \operatorname{arctg} \mu$ величина $dS = 0$; при $\beta < \operatorname{arctg} \mu$ – $dS < 0$, а при $\beta > \operatorname{arctg} \mu$ эта величина больше нуля. Зоне, соответ-

ствующей получению $dS < 0$, соответствует центральный угол α_0 (см. рис. 3).

Сила сжатия определяется при интегрировании уравнения (23):

$$S = -C_z r_{св} \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{\left(\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \right)} \int \left(1 - \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} \right) \times (\mu - \operatorname{tg} \beta) d\beta. \quad (24)$$

Окончательно получим:

$$S = C_1 - C_z r_{св} \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{\left(\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \right)} \times \left(\mu \beta - \mu \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \beta}{\cos \beta} + \ln \cos \beta + \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} \right), \quad (25)$$

где C_1 – постоянная интегрирования, определяемая из граничных условий.

При $\beta = 0$ величина $S = S_{\max}$ и

$$C_1 = S_0 + - C_z r_{св} \cos \frac{\alpha}{2} \times \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{\left(\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \right)}. \quad (26)$$

Для определения величины S_0 необходимо рассмотреть схему нагружения элемента шины,

находящегося в точке O_1 (см. рис. 1). Эта схема приведена на рис. 4.

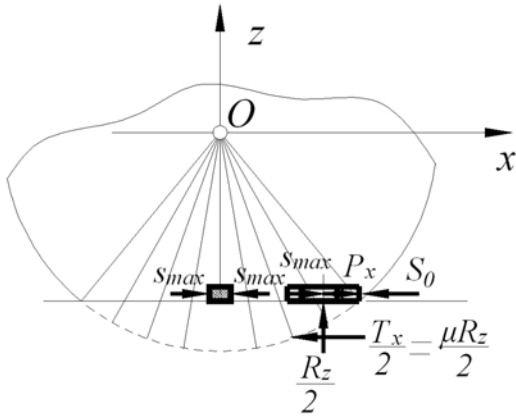


Рис. 4. Схема для определения S_0 .

Величина S_0 (см. рис. 4) может быть определена из уравнения равновесия периферийной части шины в пятне контакта на участке AO_1 (см. рис. 1):

$$S_0 + P_x - \frac{T_x}{2} - S_A = 0. \quad (27)$$

$$S_0 = \frac{1}{2} \mu C_z r_{cb} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) - C_z r_{cb} \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}} \times \int_0^{\alpha/2} \left(\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \beta \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} \right) d\beta. \quad (32)$$

Проведя интегрирование в указанных пределах, получим после преобразований:

$$S_0 = C_z r_{cb} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) \times \left[\frac{\mu}{2} + \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2} + \ln \cos \frac{\alpha}{2}}{\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}} \right]. \quad (33)$$

Выражение (26) с учетом (33) примет вид:

$$C_1 = C_z r_{cb} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) \times \left[\frac{\mu}{2} + \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2} + \ln \cos \frac{\alpha}{2}}{\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}} \right]. \quad (34)$$

Таким образом, определив постоянную интегрирования C_1 , окончательно получим выражение для силы S (см. уравнение (25)):

$$S = \frac{C_z r_{cb} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)}{\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}} \times \left[\frac{\mu}{2} + \frac{1 - \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} + \ln \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} - \mu \left(\beta - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \beta}{\cos \beta} \right)}{\alpha - \cos \frac{\alpha}{2} \ln \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}} \right]. \quad (35)$$

Если допустить, что в точке A величина $S_A = 0$, то из выражения (27) определим:

$$S_0 = \frac{T_x}{2} - P_x, \quad (28)$$

где P_x – горизонтальная составляющая суммарной силы упругости шины,

$$P_x = \int_0^{\alpha/2} q_x r_{cb} \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \beta} d\beta; \quad (29)$$

$\frac{T_x}{2}$ – часть суммарной силы трения в пятне контакта с дорогой, приходящаяся на участок AO_1 ,

$$\frac{T_x}{2} = \mu \frac{R_z}{2} \quad (30)$$

$$\text{Учитывая, что } R_z = C_z r_{cb} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right), \quad (31)$$

а также соотношения (18), (29) и (30), преобразуем выражение (28) к виду:

На рис. 5 приведен график зависимости (35), построенный для шины.

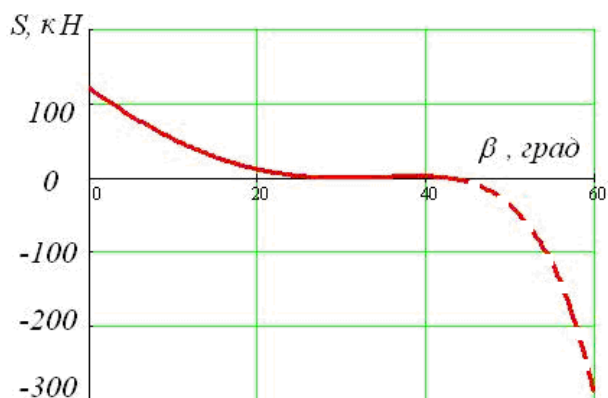


Рис. 5. Сила натяжения ленты (сжатие периферийной части шины).

При анализе удобно использовать не полярную, а декартову систему координат XOZ . В этом случае:

$$\beta = \arctg \frac{x}{r_{св} \cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (36)$$

На рис. 6 приведен график зависимости $S = S(x)$ для шины 175-70 R13, построенный с использованием зависимости (35) и (36).

Анализ графика показывает, что для указанной шины сила натяжения ленты (сжатия периферийной части) достигает 120 кН и плавно снижается от центра к краю пятна контакта.

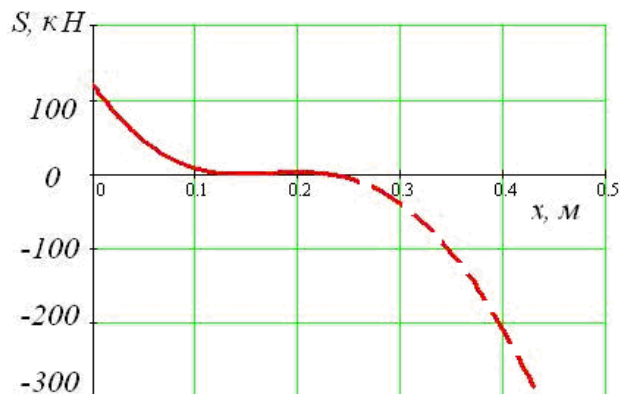


Рис. 6. Сила натяжения ленты в декартовой системе координат.

Вывод. Полученные зависимости позволяют моделировать контакт неподвижного автомобильного колеса с жесткой опорной поверхностью и, в дальнейшем, осуществить моделирование пятна контакта колеса в тяговом и тормозном режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосов А. С. Модель стационарного плоского движения колеса / А. С. Федосов // Автомобильный транспорт. – Харьков, 2002. – Выпуск 9. – С. 122–126.
2. Левин М. А. Теория качения деформируемого колеса / М. А. Левин, Н. А. Фуфаев. – М. : Наука, 1989. – 272 с.
3. Работа автомобильной шины / [В. И. Кнороз, Е. В. Кленников, И. П. Петров, А. С. Шелухин, Ю. М. Юрьев] ; под ред. В. И. Кнороза. – М. : Транспорт, 1976. – 238 с.

УДК 631.372:656.13

Шелудченко В. В.

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА КЕРОВАНІСТЬ ТА СТІЙКІСТЬ РУХУ АВТОМОБІЛІВ З АНТИБЛОКУВАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ

В даному дослідженні розглядаються особливості маршрутів перевезень та геометричні характеристики доріг, що можуть впливати на показники керованості та стійкості руху автомобілів з АБС.

Ключові слова: геометричні параметри доріг, керованість та стійкість руху, макропрофіль доріг, порівняльний аналіз.

В данном исследовании рассматриваются особенности маршрутов перевозок груза автотранспортом агропредприятий и геометрические характеристики дорог, которые могут повлиять на показатели управляемости и устойчивости движения автомобилей с АБС.

Ключевые слова: геометрические параметры дорог, управляемость и устойчивость движения, макропрофиль дорог, сравнительный анализ.

In given research was shown features of routes of transportation and geometrical descriptions of roads which can influence on the indexes of dirigibility and stability of car motion with ABS.

Key words: geometrical parameters of roads, dirigibility and stability of motion, macrottype of roads, comparative analysis.

Постановка проблеми. При дослідженнях, присвячених створенню АБС та визначенню їх впливу на динаміку руху автомобіля при гальмуванні рух автомобіля розглядається, як правило, на прямолінійних ділянках доріг без врахування геометричних параметрів доріг.

Однією з особливостей експлуатації колісних машин сільськогосподарського призначення є макропрофіль доріг місцевого значення, які з метою економії прокладаються по реальному рельєфу місцевості без значних витрат на грабарства по її вирівнюванню. Внаслідок цього колісні машини сільськогосподарського призначення експлуатуються на дорогах зі значно більш крутими похилами та підйомами, а також зі значно меншими радіусами кривизни у вертикальній і горизонтальній площинах.

Із всього різноманіття умов експлуатації автомобілів головна увага приділяється навантажувально-зчіпним умовам у контактні колес із дорожньою поверхнею, тобто враховуються вертикальні реакції у плямі контакту колеса з дорогою, тип та стан дорожньої поверхні, ступінь зношеності шини, тиск в шинах і т. і. При цьому геометричні параметри дороги майже не враховуються.

Метою наданої статті є аналіз маршрутів перевезень, а також порівняльний аналіз параметрів доріг місцевого та регіонального значень.

Викладення основного матеріалу. Всі вантажні перевезення, які виконуються в аграрному секторі економіки, можна розподілити за ознаками протяжності маршруту та використання доріг різного значення на чотири основні види: внутрішньогосподарчі, міжгосподарчі, внутрішньообласні та міжобласні.

До внутрішньогосподарчих перевезень відносяться перевезення між структурними підроз-

ділами одного агрогосподарства, наприклад, транспортування добрив зі складу до місця вивантаження (безпосередньо на полі), врожаю з поля до комори і т. і.

Основними видами міжгосподарчих перевезень є транспортування врожаю зернових до хлібокомбінату, соняшника – до маслоекстракційного заводу, цукрового буряка – до цукрозаводу і т. п.

Внутрішньообласні перевезення виконуються на більші відстані, ніж попередні, але в межах однієї області, наприклад, перевезення паливо-мастильних матеріалів від нафтобази до господарства.

Міжобласні перевезення виконуються між підприємствами, які розташовані на порівняно великих відстанях і мають не систематичні господарчі та технологічні зв'язки, наприклад, при завезенні до господарства будматеріалів від виробника, завезенні елітного насіння або тварин і т. і.

Вид перевезень визначає відстань та географію перевезень, які, в свою чергу, обумовлюють вибір маршруту. Нами проаналізовані маршрути перевезень, які були виконані у 26 агрогосподарствах Сумської області на протязі 2008–2009 рр.

Метою даного аналізу було визначення відсотків пробігу автомобілів по дорогах місцевого, регіонального та державного значення при різних видах перевезень.

Результати аналізу наведені в табл. 1., які свідчать про те, що переважна частина перевезень в аграрному секторі виконується по дорогах місцевого значення, які мають особливості як в будівництві, так і в експлуатації, що може вплинути на показники керованості та стійкості автомобілів.

Таблиця 1.

Структура використання доріг різних категорій при виконанні перевезень.

Вид перевезень	% протяжності маршруту по дорогах державного значення	% протяжності маршруту по дорогах регіонального значення	% протяжності маршруту по дорогах місцевого значення
Внутрішньогосподарчі перевезення	–	–	100%
Міжгосподарчі перевезення	–	8–12%	88–92%
Внутрішньообласні перевезення	4–6%	32–36%	58–64%
Міжобласні перевезення	~35%	~35%	~35%

Відомо, що суттєво впливати на показники керованості та стійкості автомобілів при гальмуванні можуть наступні геометричні параметри доріг [1–4]:

- радіуси кривизни у горизонтальній площині;
- радіуси кривизни у вертикальній площині;
- поздовжні похили.

Тому порівняльний аналіз доріг виконано саме за цими параметрами. Для цього за даними «Відомостей автомобільних доріг», за даними Служби автомобільних доріг «Облавтодор» у Сумській області побудовані гістограми розподілу цих параметрів для доріг місцевого та регіонального значення (рис. 1–6).

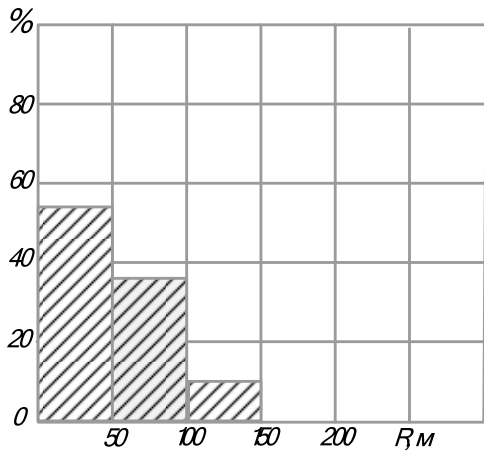


Рис. 1. Гістограма розподілу радіусів кривизни доріг місцевого значення у горизонтальній площині.

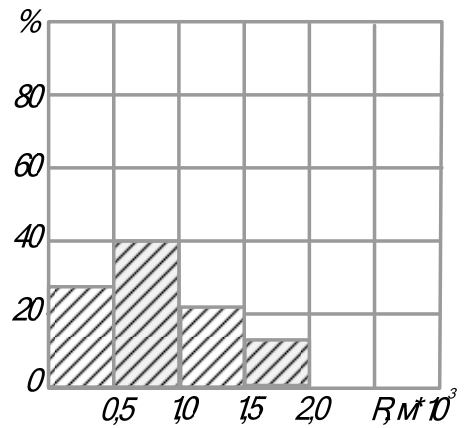


Рис. 2. Гістограма розподілу радіусів кривизни доріг місцевого значення у вертикальній площині.

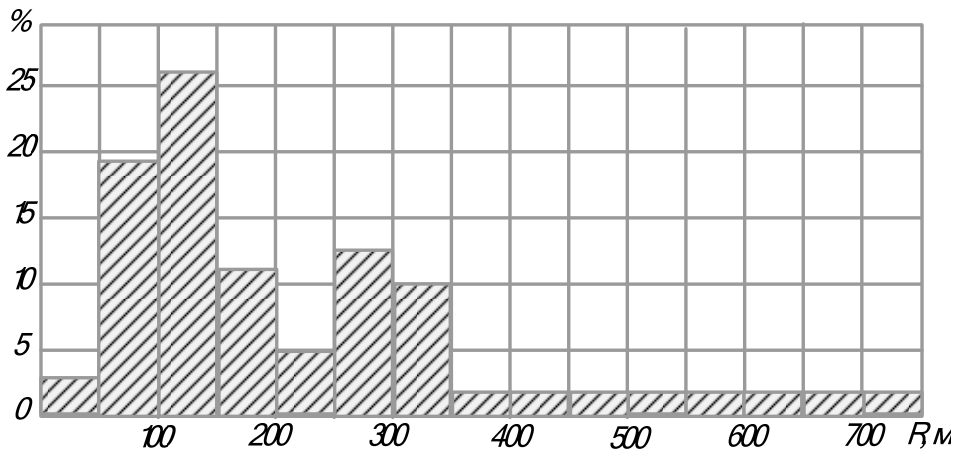


Рис. 3. Гістограма розподілу радіусів кривизни доріг регіонального значення у горизонтальній площині.

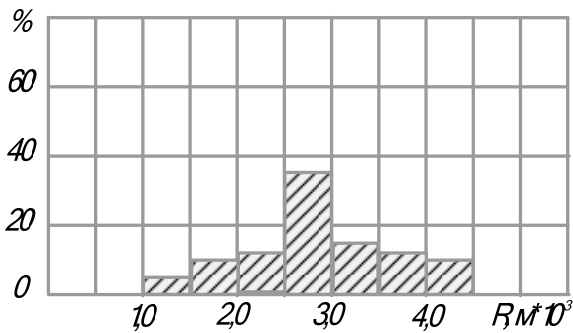


Рис. 4. Гістограма розподілу радіусів кривизни доріг регіонального значення у вертикальній площині.

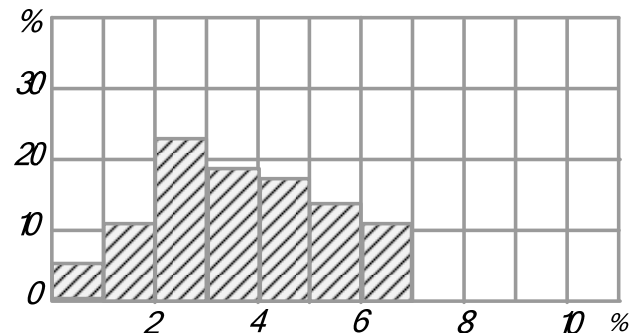


Рис. 6. Гістограма розподілу поздовжніх похилів доріг регіонального значення.

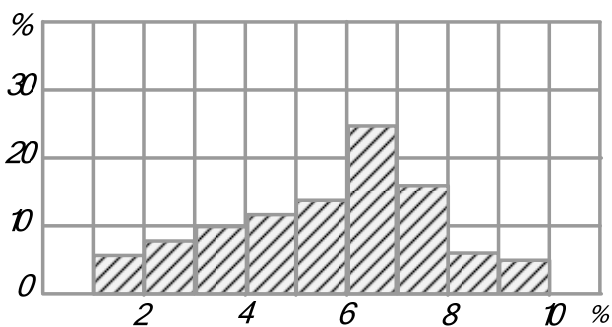


Рис. 5. Гістограма розподілу поздовжніх похилів доріг місцевого значення.

Аналіз гістограм вказує на те, що більше половини поворотів (54%) доріг місцевого значення мають радіус кривизни до 50 м, а майже всі (90%) – до 100 м. У той же час на дорогах регіонального значення більше половини (52%) поворотів мають радіус кривизни більше, ніж 150 м. У вертикальній площині радіуси кривизни доріг місцевого значення знаходяться у діапазоні до 2 км, а доріг регіонального значення майже всі (86%) – більше 2 км. Поздовжні похили доріг місцевого значення змінюються в діапазоні до 10%, а доріг регіонального значення –

до 7%. При цьому максимум розподілу значень похилів для доріг місцевого значення знаходиться в інтервалі 6–7%, а для доріг регіонального значення – в інтервалі 2–4%. Крім наведеного аналізу геометричних параметрів доріг слід враховувати ще й щільність розташування пово-

ротів та похилів на дорогах. Цей показник можна визначити по даним тих же «Відомостей...» як співвідношення кількості горизонтальних стрічок відомості до довжини дороги. Визначені таким чином середні значення щільності наведені в табл. 2.

Таблиця 2.

Значення щільності розташування поворотів та похилів доріг.

Непрямолінійність чи негоризонтальність доріг	місцевого значення	регіонального значення
Крива у горизонтальній площині	53 на 100 км	23 на 100 км
Крива у вертикальній площині	55 на 100 км	11 на 100 км
Похил	56 на 100 км	11 на 100 км

Таким чином, дороги місцевого значення відрізняються від доріг регіонального значення суттєво меншими радіусами поворотів, більшими значеннями похилів та більш високою (~ у 3 рази) щільністю розташування поворотів та похилів. Ці особливості обумовлені тим, що будівництво доріг місцевого значення з метою зменшення його собівартості виконується з мінімумом коштовних земельних робіт, тобто ці дороги прокладаються практично по реально існуючому рельєфу місцевості.

Дані табл. 2 свідчать про те, що на дорогах місцевого значення в середньому кожні 600 м зустрічаються непрямолінійні або негоризонтальні ділянки. З урахуванням того, що середня протяжність криволінійних ділянок складає 80–150 м, а протяжність похилів – 300–500 м, можна зробити висновок про те, що автомобіль на дорозі місцевого значення майже постійно рухається по непрямолінійним або негоризонтальним ділянкам. Це обумовлює дуже високу ймовірність гальмування саме на таких ділянках.

Цей висновок обґрунтовує актуальність вирішення задачі оцінки адаптивних властивостей АБС при гальмуванні на непрямолінійних або негоризонтальних ділянках дороги та визначення заходів підвищення цих властивостей.

Висновки. Переважна частина перевезень в аграрному секторі (до 90%) виконується по дорогах місцевого значення.

Дороги місцевого значення відрізняються від доріг регіонального значення меншими значеннями радіусів кривизни в горизонтальній та вертикальній площинах, більшими значеннями похилів та більш високою щільністю (~ у 3 рази) розташування поворотів та похилів.

Висока щільність розташування непрямолінійних та негоризонтальних ділянок дороги зумовлює високу ймовірність гальмування саме на цих ділянках і обґрунтовує актуальність оцінки адаптивних властивостей АБС при гальмуванні на таких ділянках.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ревин А. А. Устойчивость автомобиля на прямолинейном участке при торможении с независимой АБС / А. А. Ревин // Автомобильная промышленность. – 1980. – № 3. – С. 20–24.
2. Гецович Е. М. Влияние продольного уклона дороги на качество регулирования торможения / Е. М. Гецович, В. В. Шелудченко // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2006. – № 6. – С. 81–86.
3. Гецович Е. М. О влиянии кривизны дороги в горизонтальной плоскости на рабочие процессы АБС / Е. М. Гецович, В. В. Шелудченко, С. Г. Селевич // Автомобильный транспорт. – Харьков : Изд-во ХНАДУ. – 2007. – Вып. 20. – С. 44–47.
4. Гецович Е. М. Влияние кривизны дороги в вертикальной плоскости при торможении на рабочие процессы АБС / Е. М. Гецович, В. В. Шелудченко // Вісник СНАУ. – 2008. – № 2 (18). – С. 124–127.

УДК 621

Эреджепов М. К.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПУСКА МОТОРТЕСТЕРОМ БЕЗ СНЯТИЯ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРА С ДВС

У статті описаний досвід діагностування електростартерної системи пуску з використанням мотортестера без зняття електростартера із ДВЗ. Діагностування системи пуску проводилося мотортестером FSA 7-Bosch у тестах «Акумуляторна батарея – струм стартера», «Стартер», «Універсальний осцилоскоп». Аналіз отриманих результатів показав, що більшість показників вимі-

рів можуть бути прийняті як діагностичні параметри, що характеризують технічний стан системи пуску в цілому і його окремих вузлах.

Ключові слова: система пуску, електростартер, акумуляторна батарея, діагностування системи пуску.

В статті описан опыт диагностирования электростартерной системы пуска с использованием мотортестера без снятия электростартера с ДВС. Диагностирование системы пуска проводилось мотортестером FSA 720-Bosch в тестах «Аккумуляторная батарея – ток стартера», «Стартер», «Универсальный осциллоскоп». Анализ полученных результатов показал, что большинство показателей измерений могут быть приняты в качестве диагностических параметров, характеризующих техническое состояние системы пуска в целом и его отдельных узлов.

Ключевые слова: система пуска, электростартер, аккумуляторная батарея, диагностирование системы пуска.

In article the research of electric starter start up system by using of motor- tester without removal of an electro starter with EIC is described. Diagnosing of start-up system motor-tester FSA 720 – Bosch was conducted in tests: «The storage battery – a current of a starter», «Starter», «The universal oscilloscope». The analysis of the obtained results has shown that the majority of parameters of measurements can be accepted as the diagnostic parameters describing a technical condition of system of start-up as a whole and its separate nodes.

Key words: system of start-up, electric starter, storage battery, diagnostic of system of start-up.

Постановка проблеми. К усуненню неісправностей систем електрооборудовання бензинових і дизельних автомобілів, знаходящихся в експлуатації, приходиться от 11 до 17% из общего объема работ по ТО и ТР автомобилей. Большое количество неисправностей приходится на систему пуска ДВС: «Аккумуляторная батарея (АКБ) – электростартер». Определение технического состояния системы пуска проводится при ТО и ТР автомобилей.

Діагностування АКБ традиційно проводиться с помощью измерительной вилки и плотномера – приборами, дающими информацию о техническом состоянии только АКБ, при этом также проверяется состояние электропроводов, плотность контактных соединений, наличие коррозии в соединениях электропроводов и др. Состояние электростартера, не снятого с ДВС, проверяется путем пробной прокрутки ДВС без использования измерительного оборудования.

Даний метод суб'єктивної оцінки не дає повного представлення о технічному стані електростартера, наприклад, муфті вільного ходу, споживаного струму і потужності електростартера, радіальному і осевому бієнню вала електростартера в підшипниках скольження, зусиллі прижима щеток к колекторам, износу і корозії колекторів якоря і др.

Аналіз літератури. Обычно диагностирование электростартеров методами приборной диагностики проводят при снятии электростартера с ДВС автомобиля на специальных стендах [1] с частичной разборкой. Согласно положения [2], ТО в том числе и диагностирование электростартера рекомендуется проводить при се-

зонном ТО автомобиля. При относительно небольших межсезонных пробегах автомобилей данный подход может приводить к неоправданному увеличению трудоемкостей по ТО. С другой стороны, предприятиями изготовителями [3; 4] ТО со снятием электростартера рекомендуется проводить при пробеге автомобиля 100–120 тыс. км. Данное положение не учитывает индивидуального подхода к определению технического состояния электростартеров с учетом условий эксплуатации автомобиля. Поэтому здесь целесообразным представляется использование методов приборной диагностики – без снятия электростартера с ДВС автомобиля.

В последние годы на станциях технического обслуживания для определения технического состояния ДВС автомобилей используются мотортестеры, позволяющие также диагностировать и систему пуска без снятия электростартера с ДВС.

Цель работы – провести диагностирование мотортестером системы пуска ДВС – «Аккумуляторная батарея (АКБ) – электростартер» без снятия электростартера с ДВС, проанализировать и дать оценку полученным результатам измерений.

Изложение основного материала. Для удобства анализа излагаемого материала в составе системы пуска рассмотрим только АКБ и электростартер.

Діагностування електростартерної системи пуску проводилось на лабораторному моторному стенді на базі карбюраторного ДВС об'ємом 1,5 літра з використанням стаціонарного універсального мотортестера FSA 720-Bosch.

Техническая характеристика системы пуска ДВС.

1. Аккумуляторная батарея

Марка	FORSE
Тип	6СТ 74 А
Емкость, А·ч	74
Напряжение номинальное, В	12
Разрядный ток, А	720
Плотность электролита в банках при температуре 20°С, г/см ³	1,25 ±0,05

2. Электростартер

Номинальное напряжение, В	12
Номинальная мощность, кВт	1,8
Сила тока холостого тока, А (не более)	85
Частота вращения якоря на холостом ходу, мин ⁻¹ (не менее)	5000
Напряжение включения тягового реле, В (не более)	9,0
Усилие прижима щеток, гс	1000–1400

Диагностирование системы пуска проводилось мотортестером FSA 720-Bosch в тестах «Аккумуляторная батарея – ток стартера»; «Стартер»; «Универсальный осциллоскоп».

Перед проведением измерений были приняты меры по недопущению запуска ДВС при прокрутке электростартером: отключены топливopодача и система зажигания. Подключение мотортестера к системе пуска проводилось с помощью соединительных кабелей, входящих в комплект мотортестера. Для определения падения напряжения в системе пуска соединительный кабель «СН 1» подключался к клеммам

АКБ, для определения силы тока к «+» проводу АКБ подключался кабель «СН 2», представляющий собой индуктивные токоизмерительные клещи.

Диагностирование в тесте «Аккумуляторная батарея – ток стартера». В тесте «Аккумуляторная батарея – ток стартера» устанавливались следующие масштабы измерения (предельные значения шкал измерения): времени по оси X = 5 с; тока Y = 1000 А, падения напряжения по оси Y = 20 В. Общий вид окна с результатами измерений в тесте «Аккумуляторная батарея – ток стартера» показан на рис. 1.

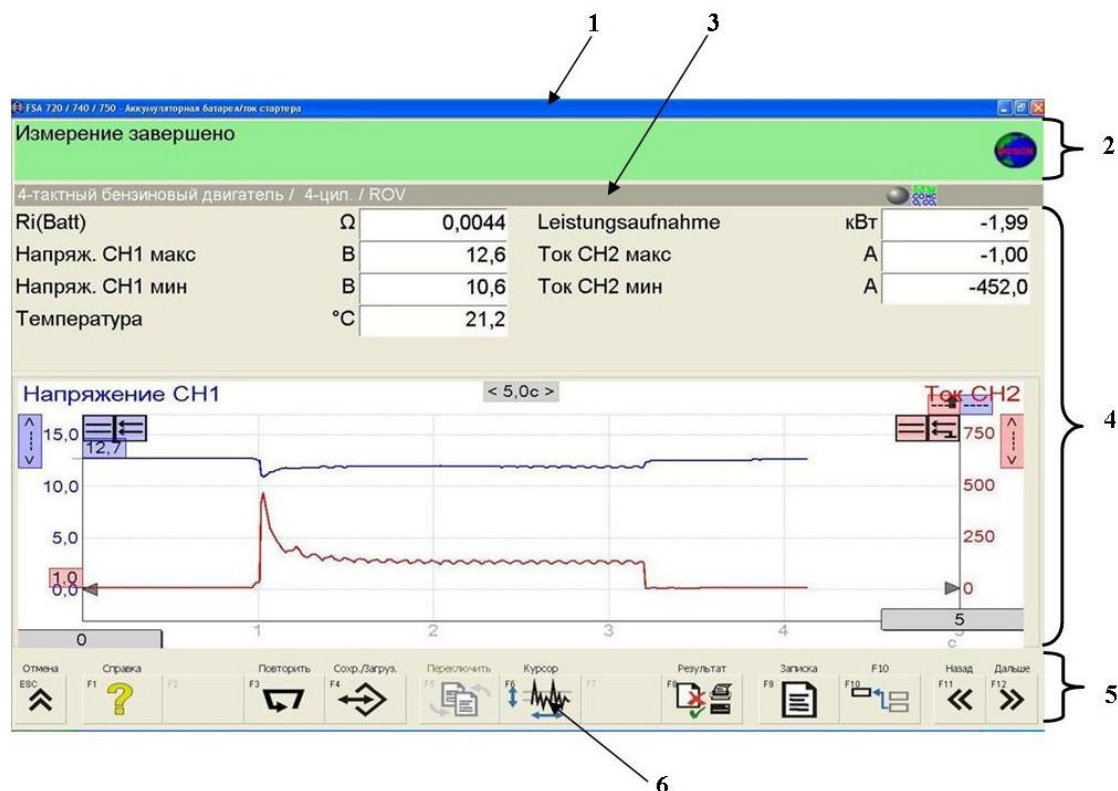


Рис. 1 Общий вид окна с результатами измерений в тесте «Аккумуляторная батарея – ток стартера»: 1 – строка заголовка этапа проверки «Аккумуляторная батарея – ток стартера»; 2 – информационное поле с информацией для оператора «Измерение завершено»; 3 – строка состояния с информацией о диагностируемом средстве «4-тактный бензиновый двигатель (4-цил.) ROV»; 4 – окно для результатов измерения в цифровой графической форме; 5 – функциональные клавиши; 6 – функциональная клавиша «Курсор».

В информационном поле 4 (см. рис. 1) представлены данные проведенных измерений в числовой и графической формах.

Результаты измерений, отображенные в числовом поле (диагностические параметры):

- R_i (Batt) = 0,0044 Ом – внутреннее сопротивление АКБ под нагрузкой;
- напряжение СН 1_{\max} = 12,6 В – напряжение на АКБ без нагрузки;
- напряжение СН 2_{\min} = 10,6 В – максимальное падение напряжения на АКБ при максимальном значении потребляемого тока;
- температура 21,2°C – температура масла в катере ДВС;
- $leistungsaufnahme$ = 1,9 кВт – средняя потребляемая мощность электростартера в пределах общего времени измерения;
- ток СН 2 = 1 А – потребляемый ток датчиками температуры и масла ДВС;
- ток СН 2 = 452 А – максимальный ток АКБ.

Потребляемый ток электростартером определяется зависимостью:

$$I_{\text{ст}} = I_{\text{АКБ}} - I_{\text{потреб}},$$

где $I_{\text{АКБ}}$ – ток, измеряемый на «+» проводе АКБ индуктивными токоизмерительными клещами; $I_{\text{потреб}}$ – ток, потребляемый приборами ДВС, не относящихся к системе пуска.

Приведенные результаты дают наиболее полную информацию о техническом состоянии для АКБ. Представляет интерес R_i (Batt) = 0,0044 Ом – внутреннее сопротивление АКБ под нагрузкой. Очевидно, при известных значениях плотности электролита в АКБ, также токе нагрузки, падении напряжения под нагрузкой показатель (диагностический параметр) R_i (Batt) можно использовать в качестве показателя для определения остаточного ресурса АКБ.

На рис. 2 показаны осциллограммы падения напряжения на АКБ (позиция 10) и потребляемого тока от АКБ (позиция 9).

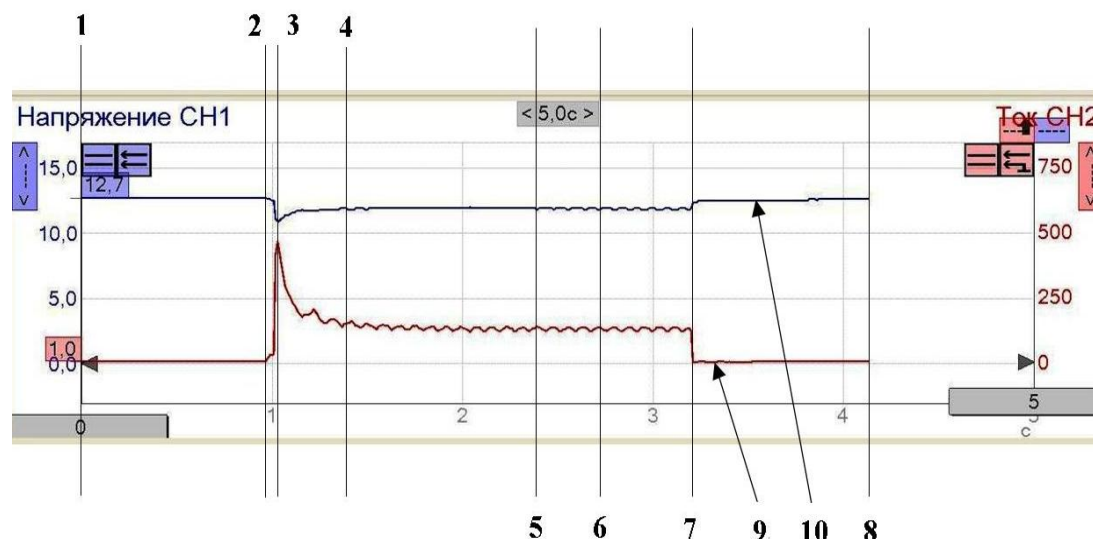


Рис. 2. Осциллограммы падения напряжения на АКБ и потребляемого тока от АКБ: 1–8 – сечения на характерных временных участках осциллограмм; 9 – осциллограмма падения напряжения на АКБ; 10 – осциллограмма потребляемого тока от АКБ.

Для удобства анализа осциллограмм временной интервал на характерных временных участках разделен сечениями 1–8.

Сечение 1 – начало измерений. Потребляемый ток электростартером равен 0 А (осциллограмма 9), падение напряжения на АКБ равно 12,7 В (осциллограмма 10).

Сечение 2 – начало подачи электропитания к обмотке тягового реле. При этом на осциллограмме 9 наблюдается начало нарастания тока, на осциллограмме 10 – начало падения напряжения.

Сечение 3 характеризуется максимальным потребляемым током стартера, а также максимальным падением напряжения на АКБ. На временном интервале между сечениями 2 и 3 более пологий фронт нарастания тока относится к току

тягового реле, более крутой, почти вертикальный – к суммарному току основной (нагрузочной) обмотки стартера и обмотке удерживающего реле.

На осциллограмме 9 точка перехода от более пологого фронта нарастания тока к более крутому соответствует моменту срабатывания контактного диска (пяты), т. е. подключению к «+» клемме АКБ и подаче электропитания к основной (нагрузочной) обмотке электростартера. При этом вал стартера и коленчатый вал не вращаются.

Величина тока в сечении 3 соответствует пусковому току, при неподвижном якоре стартера. Сечение 3 характеризуется также страгиванием и началом вращения вала стартера совместно с коленчатым валом ДВС.

В сечении 3–4 происходит резкое уменьшение потребляемого тока стартера, соответственно и уменьшение падения напряжения. Фронт падения тока на этом участке показывает начавшуюся прокрутку коленчатого вала. Сечение 4 соответствует началу равномерного вращения вала стартера совместно с коленчатым валом. Пульсации тока в интервале сечений 3–7 на осциллограмме 9 характеризуют наличие знакопеременной нагрузки, создаваемой коленчатым валом.

Максимальные значения пульсирующего тока, очевидно, соответствуют нахождению поршней ДВС в верхней мертвой точке в такте сжатия, а минимальные такту выпуска отрабо-

тавших газов. Пульсации падения напряжения в интервале сечений 3–7 носят не явно выраженный характер.

Это связано, с одной стороны, с относительно незначительными амплитудами колебаний тока АКБ, с другой, с низким внутренним сопротивлением АКБ, показывающим хорошее состояние АКБ. Интервал времени между сечениями 5 и 6 соответствует двум оборотам коленчатого вала. Сечение 7 – выключение стартера. Сечение 8 – завершение измерения.

В табл. 1 приведены численные значения падения напряжения на АКБ и тока электростартера по показаниям осциллограмм, снятых с помощью курсора 6 (см. рис. 1).

Таблица 1.

Значения падения напряжения на АКБ и тока стартера во временном интервале в тесте «Аккумуляторная батарея – ток стартера».

№ сечения	Характеристика этапа измерения	Время от начала измерения, с	Падение напряжения на АКБ, В, (СН 1)	Потребляемый ток стартера, А, (СН 2)
1	Начало измерения	0,0	12,7	0,0
2	Начало подачи электропитания к обмотке тягового реле	1,0	12,7	2,0
3	Начало вращения вала стартера и передача крутящего момента к коленчатому валу	1,0	10,5	460
4	Начало равномерного вращения вала стартера и коленчатого вала	1,4	11,8	155
5	Момент нахождения поршня ДВС в ВМТ в такте сжатия	2,3	11,9	137
6	То же	2,7	12,0	136
7	Отключение подачи электропитания к тяговому реле (стартеру)	3,2	12,3	0,0
8	Окончание измерения	4,2	12,6	0,0

Осциллограмма падения напряжения 10 (см. рис. 2) в тесте «Аккумуляторная батарея – ток стартера» позволяет определить:

- для АКБ – величину ЭДС и значений падения напряжения при различной токовой нагрузке электростартером;
- разность показаний ЭДС АКБ в начале и конце измерения (АКБ без нагрузки), также наличие колебаний падения напряжения между сечениями 6 и 7 могут характеризовать восстановительную способность АКБ после снятия нагрузки.

Осциллограмма 9 (см. рис. 2) потребляемого тока от АКБ показывает:

- характеристику потребляемого тока стартером в режиме торможения муфты свободного хода;
- характеристику потребляемого тока стартером в режиме прокрутки коленчатого вала.

Приведенные осциллограммы 9 и 10 не дают в полной мере оценку технического состояния муфты свободного хода. Для этого следую-

щие измерения были проведены в тесте «Стартер». Устанавливались следующие масштабы: времени по оси $X = 2$ с; тока $Y = 500$ А.

На рис. 3 показан общий вид окна результатов измерений в тесте «Стартер».

Данные, отображенные в числовом поле:

- напряжение АКБ – 12,2 В;
- ток СН 2 – 148 А;
- потребляемый ток электростартером при падении напряжения на АКБ – 12,2 В;
- температура – 21,1°C.

На рис. 4. показан участок 1 (см. рис. 3) осциллограммы включения стартера и начала равномерной прокрутки коленчатого вала.

Величина тока в точке 2 характеризует состояние обмотки втягивающего реле и цепи электропитания данной обмотки.

Точка 3, характеризующая срабатывание пяты и подачи электропитания на нагрузочные обмотки электростартера, показывает состояние сопряжения: пяты – контактные болты (плотность прилегания, наличие коррозии и др.).

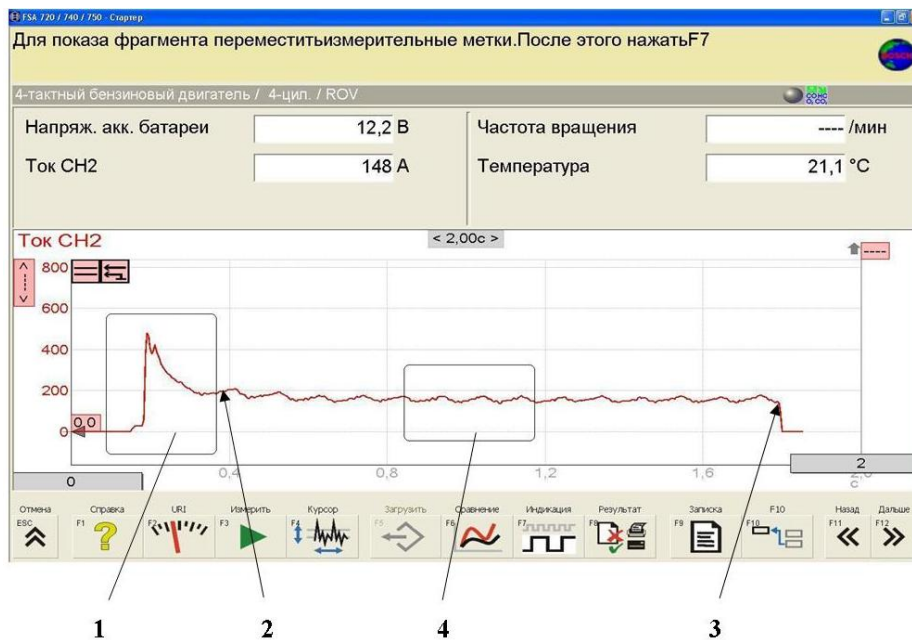


Рис. 3. Общий вид окна с результатами измерений в тесте «Стартер»: 1 – участок включения электростартера и начало равномерной прокрутки коленчатого вала; 2 – точка начала равномерного вращения вала электростартера и коленчатого вала; 3 – точка отключения электростартера; 4 – участок равномерного вращения вала электростартера и коленчатого вала.

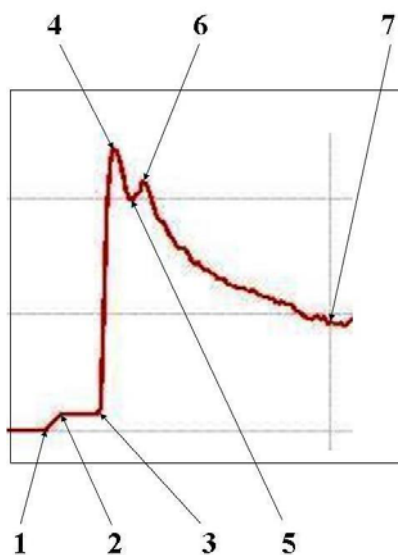


Рис. 4. Участок осциллограммы включения электростартера и начала равномерной прокрутки коленчатого вала: 1 – подача электропитания к обмоткам тягового реле; 2 – окончание нарастания тока в обмотках тягового реле; 3 – срабатывание пяты и начало подачи электропитания на нагрузочные обмотки стартера; 4 – начало вращения вала стартера; 5 – начало передачи крутящего момента от вала стартера к коленчатому валу; 6 – окончание нарастания тока в нагрузочной обмотке стартера; 7 – начало равномерного вращения электростартера.

Величина тока в точке 4 определяется:

$$I_4 = I_{вр} + I_{но} + I_{ур},$$

где $I_{вр}$ – ток втягивающего реле;

$I_{но}$ – ток нагрузочных обмоток стартера;

$I_{ур}$ – ток удерживающей обмотки.

Точка 4 характеризует сопротивление нагрузочной обмотки электростартера и в целом цепи электропитания стартера при неподвижном якоре. Понижение тока в интервале 4–5 вызвано страгиванием якоря электростартера в точке 4 и началом его вращения. В этом интервале происходит выборка всех зазоров в сопряжениях между валом электростартера и коленчатым валом: зазоров в шлицевом соединении между валом электростартера и муфтой свободного хода, зазоров между роликами и обоймой муфты свободного хода, зазоров между зубьями шестерни муфты и венца маховика.

Повышение тока в интервале 5–6 связано с моментом сопротивления прокрутки, создаваемым коленчатым валом. Очевидно, увеличенному сопротивлению прокрутки, например, при более холодной смазке будет соответствовать большее значение тока в точке 6, а также увеличенному интервалу времени между точками 5 и 6.

Точка 6 характеризуется окончанием нарастания тока страгиванием коленчатого вала и началом его вращения, точка 7 – начало равномерной прокрутки коленчатого вала. Как показывает анализ, большой объем информации, характеризующей работу электростартера, сосредоточен в интервале этапов 1–7.

Представляет интерес также и участок 4 (см. рис. 3). Для этого были проведены измерения в тесте «Осциллоскоп универсальный» в масштабе времени по оси $X = 500$ мс, тока – по оси $Y = 200$ А. Значения величин осциллограммы для этапов измерений приведены в табл. 2.

Значения показателей осциллограммы для этапов измерения.

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
Этап измерения	Начало подачи электропитания к обмотке втягивающего реле	Окончание нарастания тока в обмотке втягивающего реле	Срабатывание пята, начало подачи электропитания на нагрузочные обмотки стартера	Начало вращения вала якоря	Начало передачи крутящего момента от вала стартера к колленчатому валу	Окончание нарастания тока в нагрузочной обмотке стартера	Начало равномерного вращения электро-стартера
Время от начала включения измерения, с	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,3
Значение тока, А	0,0	29,0	58,0	478	379	422	200

Результаты измерений показаны на рис. 5.

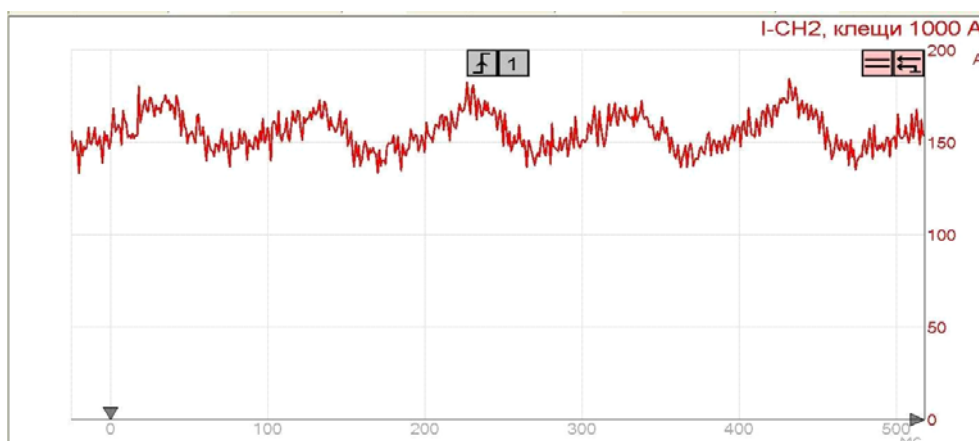


Рис. 5. Осциллограмма участка равномерного вращения колленчатого вала.

Общий характер синусоиды, как описывалось, вызван знакопеременной нагрузкой от колленчатого вала. В пределах синусоидальной кривой наблюдаются высокочастотные колебания тока со средней амплитудой ± 15 А. Очевидно, здесь отражаются колебания тока, возникающие между щетками и коллекторами якоря электростартера, вызывающие искрообразование. Колебания тока могут зависеть от радиальных и осевых биений вала стартера, зазоров между валом якоря и подшипниками скольжения, усилия прижатия щеток к коллекторам якоря, окисления, износа коллекторов и щеток и др. Диагностирование электростартера на холостом ходу можно проводить путем подключения «+» клеммы АКБ с «+» клеммой стартера через автоматический выключатель.

Выводы и рекомендации.

1. Диагностирование системы пуска с использованием мотортестера осуществляется в динамике без снятия электростартера с ДВС, где в качестве нагрузки используется штатный ДВС. При этом могут значительно сократиться объемы работ по ТО и ТР.

2. Сокращение времени по ТО и ТР позволяет устанавливать в зависимости от условий эксплуатации, более рациональную, технически обоснованную периодичность обслуживания и ремонта системы пуска.

3. Большинство показателей измерений, полученных в тестах «Аккумуляторная батарея – ток стартера»; «Стартер»; «Универсальный осциллоскоп», могут быть приняты в качестве диагностических параметров. Выбор основных структурных параметров технического состояния и соответствующим им диагностических параметров связан с конструктивными особенностями стартера и системы пуска в целом. При отборе наиболее значимых необходимо руководствоваться предъявляемым к ним основными требованиями: однозначностью, стабильностью, чувствительностью и информативностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стенд Э-250-07 для контроля и ремонта, снятого с автомобиля электрооборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.teh-avto.ru/production/1219.html>.
2. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Наказ Міністерства транспорту України від 30 березня 1998 року № 102.
3. Мартынова Р. А. Автомобили КамАЗ / Р. А. Мартынова, В. А. Трынов, В. С. Прокопьев ; [под ред. Л. Р. Пергамента]. – М. : Недра, 1981. – 424 с.
4. Открытое акционерное общество «Минский моторный завод». Дизели Д-245.7Е2, Д-245.9Е2, Д-245.30Е2 : руководство по эксплуатации 245Е2-0000100 РЭ. – Минск, 2009. – 96 с.

Раздел 3. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 631.316

Бабицкий Л. Ф., Мищук С. А.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ НОЖЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

В статті розглянуто технологію зміцнення зубчастих ножів ґрунтообробних знарядь твердосплавним порошком «реліт» на основі карбїду вольфраму.

Ключові слова: технологія зміцнення, зубчасті ножі, леміш, наплавка, твердосплавний порошок.

В статье рассмотрена технология упрочнения зубчатых ножей почвообрабатывающих орудий твердосплавными порошками «релит» на основе карбида вольфрама.

Ключевые слова: наплавка, технология упрочнения, зубчатые ножи, лемех, твердосплавный порошок.

In the article the technology of hardening serrated blades tillage tools with carbide powders «relit» on the basis of tungsten carbide.

Key words: surfacing, the technology of hardening, serrated knives, blade, carbide powder.

Постановка проблемы. В технологиях возделывания сельскохозяйственных культур весьма энергоемким процессом остается обработка почвы, которая производится путем механического воздействия рабочего органа на обрабатываемую среду. Причиной этого является сравнительно высокое тяговое сопротивление лемеха-клина, возрастающее при затуплении режущих кромок лезвий рабочих органов. Лемех, служащий для подрезания пласта почвы, является наиболее изнашиваемой деталью плуга и плоскореза. При работе он находится в тяжелых условиях абразивной среды, подвергаясь воздействию абразивных и ударных нагрузок, что приводит к значительному затуплению.

Цель статьи – обосновать технологию упрочнения зубчатых ножей почвообрабатывающих орудий твердосплавным порошком «релит» на основе карбида вольфрама.

Изложение основного материала. Наиболее интенсивное изнашивание дисков и лемехов почвообрабатывающих орудий происходит при обработке песчаных переувлажненных почв, порождаемое, в основном, силами трения почвы о рабочую поверхность подрезающего и рыхлящего элементов. Величина износа лемеха зависит от содержания в почве физического песка, размеров его зерен и влажности почвы. С увеличением в почве оптимальной влажности физического песка износ лемехов и дисков увеличивается.

Массовый износ лемехов при работе на песчаных почвах с большим количеством каменистых включений в 2,5...4 раза больший, чем при обработке глинистых, супесчаных и песчаных почв с небольшим количеством каменистых включений. При вспашке каменистых почв лемех мало изнашивается по массе, но быстро за-

тупляется, достигая износа по ширине на 7...8 мм. Нарботка на один лемех при этом составляет 8...9 га. Работоспособность лемехов зависит от скорости затупления и прочностных свойств лезвия. Основной причиной преждевременной выбраковки лемеха является образующаяся в процессе работы затылочная фаска на лезвии, превышающая по ширине 2,5 мм, что приводит к выглублению пахотного орудия. Лемехи интенсивно изнашиваются по толщине при вспашке песчаных почв, причем при увеличении влажности почвы изнашивание лемехов происходит быстрее и наработка на один лемех составляет 2...6 га. При обработке песчаных и супесчаных почв без наличия камней лемеха изнашиваются как по толщине, так и по ширине, и наработка на один лемех до замены зависит от содержания песка и составляет 4...7 га.

Для почвенных условий Крыма характерны песчаные и супесчаные почвы с наличием камней. При обработке таких почв происходит быстрый износ лемехов с лицевой стороны. В процессе работы режущие элементы почвообрабатывающих орудий приобретают следующие дефекты: износ лезвия по ширине, первой стадией которого является затупление; износ по толщине – абразивный износ рабочей поверхности, особенно на песчаных почвах; изгиб при столкновении лемеха с камнями, коррозия, трещины и обломы.

От работы и неоднократных заточек почво-режущие детали изнашиваются до предельного состояния, после чего они выбраковываются или восстанавливаются различными способами.

В процессе совершенствования сельскохозяйственной техники конструкции плужных лемехов изменялись незначительно. Их развитие шло путем подбора материалов и методов их

обработки, а также совершенствования геометрической формы лемехов. Однако работоспособность почворезущих деталей, особенно при обработке тяжелых каменистых почв, остается еще низкой, что отрицательно сказывается на энергоемкости и производительности труда в сельскохозяйственном производстве.

Опыт эксплуатации лемехов в различных почвенных условиях показывает, что при изна-

шивании на лезвии образуется затылочная фаска. Для поддержания остроты лезвия необходимо проводить его наплавку и упрочнение.

С целью повышения долговечности работы предложенных нами ранее зубчатых лемехов культиваторов-плоскорезов [1] предлагается упрочнять твердосплавными порошками только зубья ножей, которые концентрируют давление на почву в процессе ее подрезания (рис. 1).

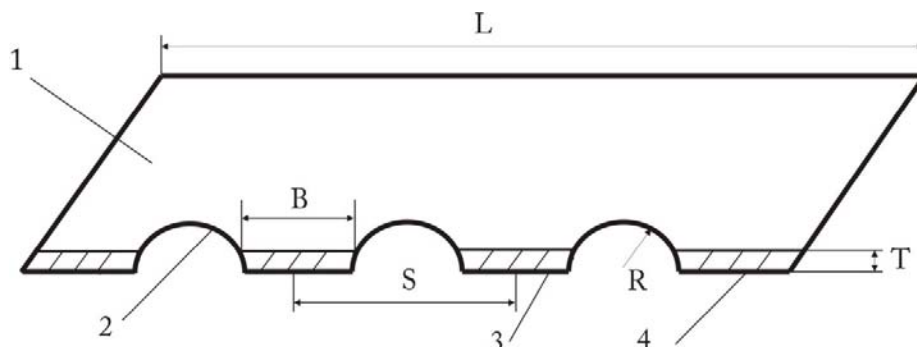


Рис. 1. Схема наплавки зубьев ножа твердосплавным порошком: 1 – нож; 2 – вырезы; 3 – зубья; 4 – зона наплавки.

В качестве наплавочного материала используются релит наплавочный типа «ЛЗ» ТУ У 322-19-008-97 (композит, содержащий карбиды вольфрама), стеллит (сплав, содержащий 0,5–3% углерода, 25–33% хрома, 3–17% вольфрама, а также никель и молибден). Кроме релита и стеллита применяются высокохромистые сплавы на основе железа.

Геометрические параметры зубчатого ножа для наплавки определяются по следующим зависимостям.

Шаг зубьев S в зависимости от длины лемеха L или ножа определяется по следующей формуле:

$$S = \frac{L}{Z}, \quad (1)$$

где Z – количество зубьев (не менее четырех).

Ширина зуба определяется по формуле:

$$B = 2kS, \quad (2)$$

где k – коэффициент расстановки зубьев равный 0,23...0,24.

Радиус выреза r определяется по следующей зависимости:

$$R = \frac{B}{2}. \quad (3)$$

Ширина полосы наплавки равна:

$$T = \frac{R}{2}. \quad (4)$$

Для восстановления лемехов твердосплавными порошками в условиях небольшого хозяйства предлагается использовать газопламенную наплавку с использованием в качестве присадочного прутка ленточный релит (рис. 2).

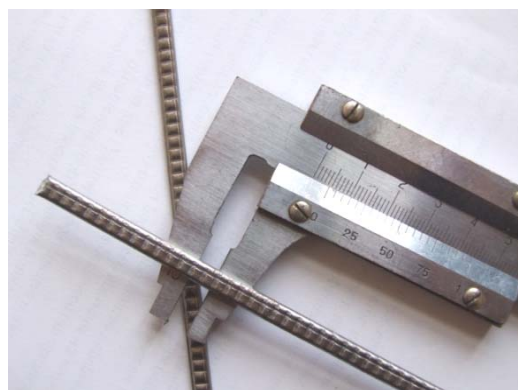


Рис. 2. Присадочные прутки из углеродистой стали и порошкообразного релита фракции 0,28–0,45 мкм.

При газопламенной наплавке для нагрева основного и наплавляемого металлов используют теплоту, выделяемую при горении смеси ацетилена, мощность пламени которого должна быть 100–120 л/ч на 1 мм толщины металла, или его заменителей и кислорода.

Газовое пламя – наименее интенсивный источник нагрева, поэтому его применение обуславливает большую, чем в других случаях, зону термического влияния. Испарения металла при использовании этого источника нагрева нет. Особенностью процесса является возможность получения малой доли основного металла в наплавленном (5–10%), что связано с отсутствием значительного давления струи газа на поверхность ванны.

Давление потока газа оценивается прямо пропорционально квадрату количества газа, истекающего из сопла в секунду, и его плотности

и обратно пропорционально расстоянию от среза сопла до поверхности ванны. Эта зависимость позволяет легко управлять процессом.

Кроме малого проплавления, газовая наплавка имеет и другие преимущества: универсальность и гибкость технологии; возможность наплавки тонких слоев; пониженную опасность возникновения трещин, поскольку процесс наплавки легко совмещается с предварительным подогревом; низкую стоимость наплавочного оборудования. К недостаткам газовой наплавки относится низкая производительность процесса; нестабильность качества наплавленного слоя, зависящая от квалификации сварщика [3].

Толщина наплавленного слоя регулируется за счет разных углов наклона детали. Если угол наклона детали будет 7° , получится тонкий слой наплавки. Если увеличивать угол наклона до 15° , то слой будет увеличиваться. Глубина проплавления не должна быть больше 0,3–0,5 мм. В этом случае не произойдет перемешивания основного металла с наплавленным.

При производстве наплавочных работ горелку надо держать под углом 70° (можно $60\text{--}80^\circ$) вправо, а присадку – под углом $30\text{--}40^\circ$ влево. Пруток всегда должен находиться в зоне пламени. Нельзя допускать касания ядром пламени расплавленного металла. Это приводит к появлению пористости в наплавленном металле. Срез мундштука горелки должен быть на расстоянии 50 мм от наплаваемого валика. При наплавке обязателен предварительный нагрев детали. Если деталь закалена, производится отжиг при температуре $800\text{--}900^\circ\text{C}$. Температура подогрева для массивных лемехов составляет $600\text{--}700^\circ\text{C}$. Мелкие детали достаточно подогреть всего до $300\text{--}500^\circ\text{C}$, чтобы не появились микротрещины. Обычно толщина наплавленного слоя не должна быть больше 2-3 мм (если деталь подвергается ударным нагрузкам), толщина слоя в случае работы детали на истирание – 4–8 мм.

Виды наплавочных материалов для газопламенной технологии приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Наплавочные материалы, применяемые при газопламенной наплавке [2].

Наплавочный материал	Марка	Характеристика состава	Область применения
Металлокерамические твердые сплавы в виде пластин	Победит	Карбиды вольфрама и титана, связанные кобальтом и железом	Оснащение металлорежущего инструмента
Литые твердые сплавы в виде прутков	Стеллит В2К Стеллит В3К Сормайт 2 Сормайт С27	Сплав вольфрама и хрома, связанных кобальтом и железом Сплав карбида хрома с железом и никелем (до 5%)	Наплавка на детали, работающие при высоких температурах Для наплавки на детали в т. ч. на лемехи, работающие при нормальных и несколько повышенных температурах
Твердый сплав в виде трубчатого стержня	Релит ЛЗ	Трубка (06Ч0,5 мм) из низкоуглеродистой стали, заполненная крупной карбидов вольфрама (ослитом)	Для наплавки рабочих органов дорожных и почвообрабатывающих машин, деталей, работающих в условиях сильного абразивного износа

Наилучшие результаты достигнуты при содержании релита в смеси около 50%. В этом случае обеспечивается хорошее формирование валиков и равномерное распределение частиц релита по сечению (рис. 3).

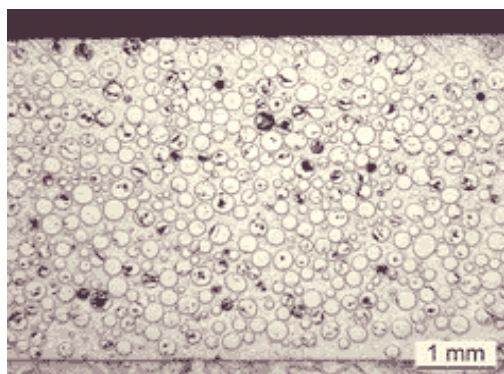


Рис. 3. Структура наплавленного слоя с содержанием релита 50% (увеличено $\times 20$).

Таким образом, 50%-ное содержание релита в смеси обеспечивает максимальную износостойкость наплавленного металла.

Если релита в смеси больше, чем 50%, то, чтобы хорошо сформировать валик, необходимо существенно (на 40–50%) увеличивать нагрев, то есть увеличивать тепловложение в деталь, что в свою очередь приводит к заметному растворению частиц, повышенной хрупкости поверхности детали и, как следствие, снижению износостойкости.

В процессе восстановления деталей производят следующие операции:

- подготовку деталей и узлов (очистку от загрязнений);
- дефектовку (выявление скрытых дефектов, трещин, изменение геометрических размеров в процессе эксплуатации);

- подготовку поверхности под наплавку (как правило, очистку от загрязнений, струйную очистку);
- отжиг для термически обработанной детали;
- восстановление геометрии методом наплавки (в зависимости от величины износа, условий эксплуатации, материала);
- контроль качества наплавки;
- механическую обработку изделия;
- проведение термической закалки и отпуска.

Выводы.

1. Металл, наплавленный ленточным релитом с содержанием зерен 50%, отличается особо высокой износостойкостью в условиях интенсивного абразивного изнашивания лемехов с умеренными ударными нагрузками в почвенной среде.

2. Наиболее доступной и эффективной технологией нанесения твердосплавных покрытий на ножи и лемехи почвообрабатывающих машин

в условиях единичного производства является технология газопламенной наплавки с использованием в качестве горючего газа ацетилена (мощность пламени – 100–120 л/ч на 1 мм толщины металла).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабицкий Л. Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин / Л. Ф. Бабицкий. – К. : Урожай, 1998. – 164 с.
2. Дудко Д. А. Наплавка и армирование зубьев ковшей экскаваторов износостойким композиционным сплавом / Д. А. Дудко // Сварочное производство. – 1977. – № 6. – С. 16–18.
3. Ткаченко М. Е. Разработка и промышленное внедрение композиционного сплава на основе релита для армирования шарошек буровых долот / М. Е. Ткаченко, А. И. Подугольников // Наплавка износостойких и жаростойких сталей и сплавов. Наплавочные материалы. – К. : ИЭС им. Е. И. Патона, 1983. – С. 17–20.

УДК 371.132

Бекиров Л. Р., Бекиров Р. Н.

ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ В СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ

В статті показано важливість орієнтації сільської молоді на ведення фермерських господарств, їх трудової діяльності за всіма існуючими польовими технологічними операціями, формування навичок і умінь не тільки в отриманні врожаїв, але й у збереженні цих врожаїв без зниження якості продукції. Для здобуття наочності, дохідливості в пізнанні польових технологічних операцій в сільському господарстві авторами представлений матеріал у вигляді післяопераційних структурно-логічних схем з коментарями. Структурно-логічні схеми технологічних операцій сільськогосподарського виробництва дозволяють чітко представити послідовність цих операцій, їх види і варіанти їх використання при заповненні специфічних сільськогосподарських робіт.

Ключові слова: сільськогосподарські роботи, виробничі технології, польові роботи, технологічні операції.

В статье показана важность ориентации сельской молодежи на ведение фермерских хозяйств, их трудовой деятельности по всем существующим полевым технологическим операциям, привития им умений и навыков не только возделывать землю и получать урожай, но и уметь сохранить этот урожай без снижения качества продукции. Для получения наглядности, доходчивости в познании полевых технологических операций в сельском хозяйстве авторами представлен материал в виде пооперационных структурно-логичеких схем с комментариями. Структурно-логические схемы технологических операций сельскохозяйственного производства позволяют чётко представить последовательность этих операций, их виды и варианты их использования при выполнении специфических сельскохозяйственных работ.

Ключевые слова: сельскохозяйственные работы, производственные технологии, полевые работы, технологические операции.

The article shows the importance of targeting of rural youth to farming, their training to all existing technological operations, developing their skills not only to cultivate the land and receive the harvest, but also to be able to keep this harvest without reducing the quality of products. For visibility, clarity in learning and cognition of the field technological operations in agriculture, authors presented the teaching material in the form of operational structural and logical diagrams with commentary. The structural-logical charts of technological operations of agricultural production allow expressly to present the sequence of these operations, their kinds and variants of their using for filling in of specific agricultural works.

Key words: agricultural activities, industrial technology, field labour, technological operations.

Постановка проблемы. Принятый в Украине курс на рыночную экономику, распаивание земель внёс свои коррективы в развитие сельскохозяйственного производства. Уже нет гигантских хозяйств с многотысячными гектарами посевной площади. Взамен появились мелкие фермерские хозяйства или пайщики (владельцы паёв земли), которые сдают свои площади в аренду более крупным сельскохозяйственным объединениям: арендным предприятиям, сельскохозяйственным фирмам, холдингам и др.

Анализ литературы. Сельскохозяйственный труд занимает важное место для профессиональной ориентации и приобретения первичных навыков ведения хозяйства. Но, к сожалению, первичные навыки ведения хозяйств сориентированы в лучшем случае на ведение приусадебного хозяйства.

В настоящее время существует проблема приобретения кадров для ведения сельских хозяйств. Молодёжь, проживающая в сельской местности, испытывает безработицу, отсутствие свободных рабочих мест.

Следовательно, стоит важная государственная задача – научить сельскую молодёжь вести своё фермерское хозяйство. Другая проблема – это несоответствие существующей сельскохозяйственной техники для обработки мелких площадей фермерских хозяйств.

Следовательно, сельскую молодёжь необходимо ориентировать на изучение и применение малогабаритной сельскохозяйственной техники (малогабаритные трактора, сельскохозяйственные машины и орудия, агрегатируемые с ними) для проведения механизированных работ в соответствии с современным мировым опытом и предъявляемым агротехническим требованиям.

Третья проблема – уметь не только возделывать земельный участок и получать урожай, но и уметь сохранить данный урожай без сни-

жения качества продукции для его дальнейшего использования. Здесь очень важно научить будущих фермеров приобретать знания, умения и навыки в первичной переработке сельскохозяйственной продукции: очистке, сортировке, сушке, хранении и др. [1–4].

Цель данной статьи – на основе анализа различных последовательных сельскохозяйственных операций разработать структурно-логические схемы по технологии сельскохозяйственных работ.

Изложение основного материала. По операционной технологии сельскохозяйственных работ все выполняемые операции можно разделить на:

- технологические операции по очистке полей от остатков предыдущего урожая и подготовке площади к обработке;
- технологические операции по основной предпосевной обработке почвы (подготовка почвы под посев и посадку сельскохозяйственных культур);
- технологические операции по посеву, посадке;
- технологические операции по уходу за посевами;
- технологические операции по защите сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней;
- технологические операции по уборке урожая;
- технологические операции по первичной переработке продукции.

Для наглядности, доходчивости в изучении и познании всей вышеуказанной группы технологических операций можно выразить в виде структурно-логических схем.

Как видно из рис. 1, подготовка площади под основную обработку почвы состоит из операций вычёсывания, сгребания, корчевания растений, планировки, выравнивания поля (лучения, сплошной культивации поверхности поля и глубокого рыхления почвы) [1; 5; 6].

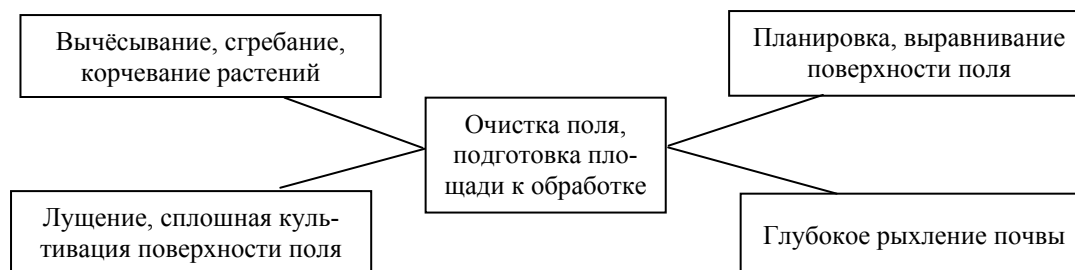


Рис. 1. Структурная схема технологических операций по очистке поля, подготовке площади к обработке.

Структурная схема, представленная на рис. 2, позволяет наглядно проследить за технологией основной и предпосевной обработки почвы и выполняемыми при этом операциями, которые заключаются в зяблевой вспашке почвы, ранне-

весеннем чизелевании поля; бороновании поверхности поля перед посевом и посадкой; поверхностной планировкой с целью выравнивания свальных гребней и развальных борозд (перед боронованием) [1; 5; 7].

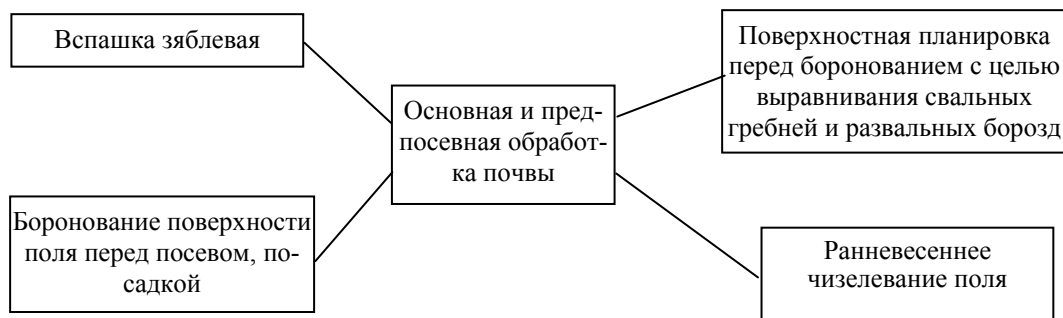


Рис. 2. Структурная схема технологических операций основной и предпосевной обработки почвы.

Важным технологическим приёмом в фермерском хозяйстве является посев семян и посадка рассады овощных и сеянцев, саженцев плодово-ягодных культур (рис. 3), включающий

различные вариации сева и посадки (с внесением удобрений, без внесения удобрений; с поливом рассады, без полива рассады, с внесением удобрений и поливом и т. д.) [1; 3; 5; 7].

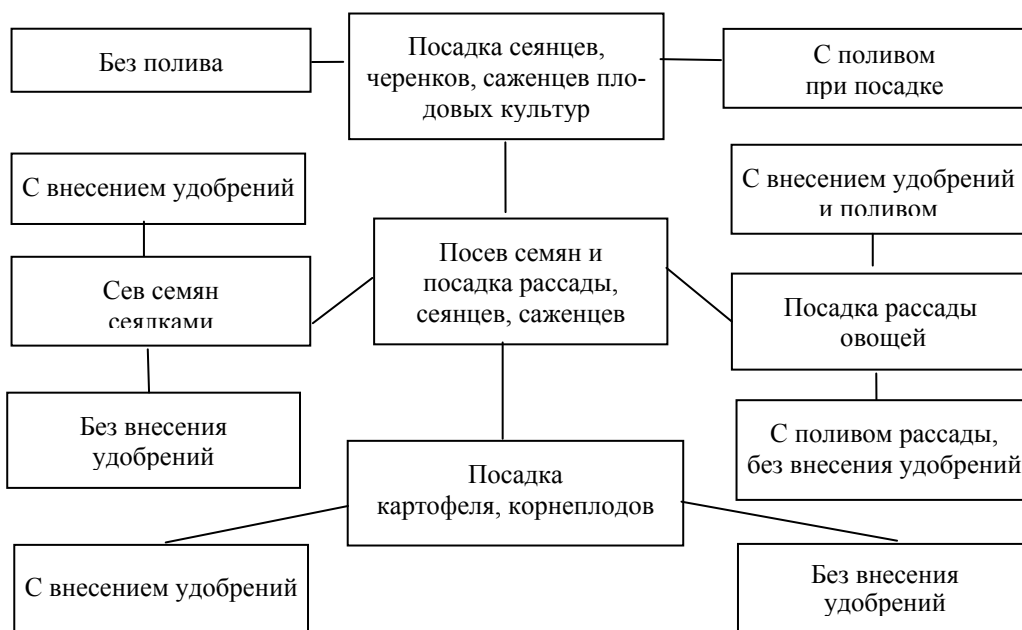


Рис. 3. Структурная схема технологических операций посева, посадки сельскохозяйственных культур.

Основой получения гарантированного урожая является организация ухода за растениями в вегетационный период (рис. 4), которая включает в себя ряд операций, наглядно представлен-

ных в схеме: прополку сорняков (с вариациями), рыхление почвы (с вариациями), нарезку борозд с подкормкой растений минеральными удобрениями, чеканку растений [1; 8].



Рис. 4. Структурная схема технологических операций ухода за посевами.

Мировая практика показывает, если не защитить будущий урожай от вредителей и болезней, то можно потерять до 20% урожая. Струк-

турная схема (рис. 5) наглядно показывает общепринятые меры защиты: механический, агротехнический, биологический и химический.



Рис. 5. Структурная схема методов защиты растений от вредителей и болезней.

Схема (рис. 6) показывает возможные варианты и виды уборки урожая различных культур:

зерновых, овощных, корнеплодов, технических и плодовых культур [1; 6; 7].

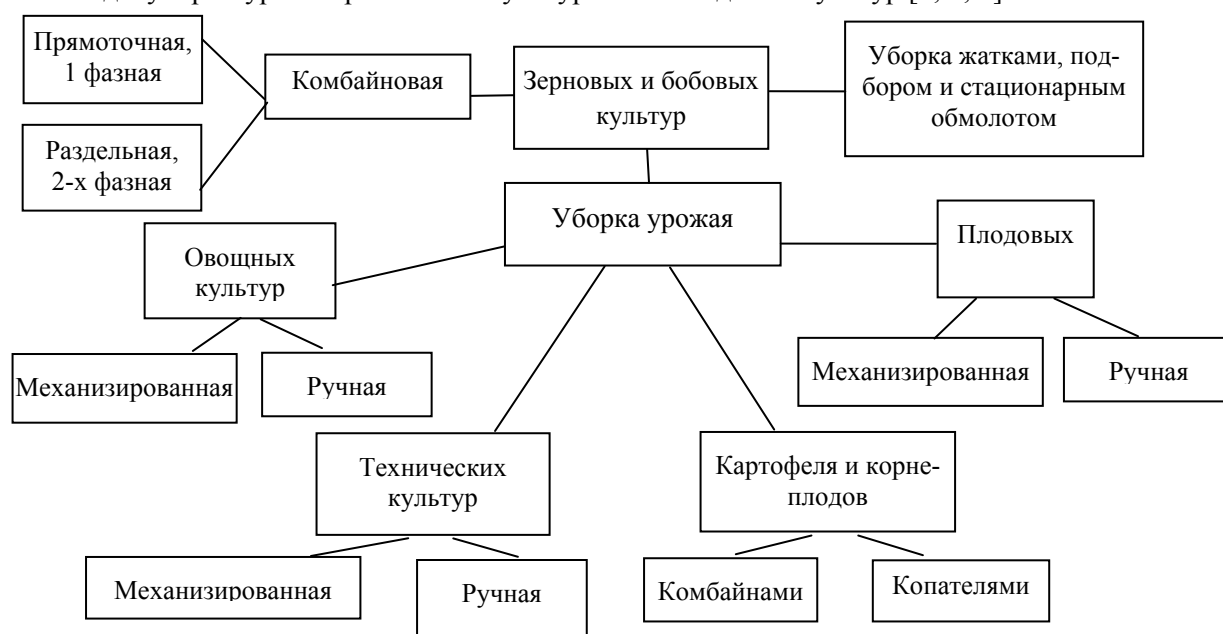


Рис. 6. Структурная схема технологических операций уборки урожая.

Для сохранения урожая необходима первичная обработка (рис. 7), т. е. выполнение следующих технологических операций: очистки собранной продукции от сора, растительных ос-

татков, земли; для дальнейшего целевого назначения проведение сортировки и калибровки, а при необходимости – сушки урожая зерновых, зернобобовых культур [1; 5; 9–11].



Рис. 7. Структурная схема технологических операций первичной обработки собранного урожая.

Вывод. Система структурно-логических схем технологических операций сельскохозяйственного производства позволяет четко представить последовательность этих операций, их

виды, варианты использования при выполнении сельскохозяйственных работ с учетом специфики условий производства (зерновых, овощных, технических культур).

ЛИТЕРАТУРА

1. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1988–1995 гг. Растениеводство. – М. : Госагропромком, 1988. – 859 с.
2. Гольдман В. Б. Приспособления по уходу за садом и огородом / В. Б. Гольдман. – М. : Россельхозиздат, 1982. – 96 с.
3. Микаелян Г. А. Промышленная технология производства рассады овощных культур / Г. А. Микаелян, Н. И. Краевая. – М. : Колос, 1984. – 143 с.
4. Механизация процессов хранения и переработки плодов и овощей : справочник / [под ред. В. В. Момота и др.]. – М. : Агропромиздат, 1988. – 272 с.
5. Искандарян М. И. Практикум по механизации сельского хозяйства : учебное пособие для с.-х. вузов / М. И. Искандарян, В. А. Роженцев. – М. : Колос, 1981. – 191 с.
6. Справочник молодого механизатора по возделыванию и уборке хлопка / [Устинов А. Н. и др.]. – Ташкент : Укитувчи, 1987. – 222 с.
7. Медведев В. П. Механизация производства семян овощных и бахчевых культур / В. П. Медведев, А. В. Дураков. – М. : Агропромиздат, 1985. – 239 с.
8. Шамаев Г. П. Механизация защиты сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней / Г. П. Шамаев, С. Д. Шеруда. – М. : Колос, 1978. – 256 с.
9. Механизация применения удобрений : справочник агрохимика / [И. К. Рябченко, В. Е. Явтушенко, Н. Н. Харенко, В. В. Полякис]. – М. : Колос, 1982. – 192 с.
10. Первичная обработка хлопка : справочник / [Г. Д. Джабаров и др.]. – М. : Лёгкая индустрия, 1978. – 430 с.
11. Справочник по первичной обработке хлопка / [под ред. И. Т. Максудова]. – Ташкент : Мехнат, 1994. – 574 с.

УДК 631.34.633.51

Бекиров Р. Н.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ КАПЕЛЬ РАСПЫЛИВАЕМОЙ СТРУИ У ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

У статті дається обґрунтування процесу випару полідисперсних крапель струменетворних пристроїв вентиляторних обприскувачів від первинних розмірів до розмірів у момент осадження. Змодельований процес польоту часток робочої рідини вентиляторних обприскувачів. Обґрунтовані параметри розпилюючого органу вентиляторного обприскувача (на прикладі вентиляторних обприскувачів бавовняних ОБХ 28(А) порівняно з ОБХ-14).

Ключові слова: полідисперсні краплі, струменетворні пристрої, вентиляторні обприскувачі, розпилюючий орган.

В статье дается обоснование процесса испарения полидисперсных капель струеобразующих устройств вентиляторных опрыскивателей от первоначальных размеров до размеров в момент осадения. Смоделирован процесс полёта распыливаемых частиц рабочей жидкости вентиляторных опрыскивателей. Обоснованы параметры распыливающего органа вентиляторного опрыскивателя (на примере опрыскивателей вентиляторных хлопковых ОБХ 28(А) в сравнении с ОБХ-14).

Ключевые слова: полидисперсные капли, струеобразующие устройства, вентиляторные опрыскиватели, распыливающий орган.

In the article the ground of process of evaporation of polydisperse drops of stream forming devices of fan sprinklers is given (from primary sizes to the sizes in the moment of besieging). The process of flight of spray particles of working liquid of fan sprinklers is modeled. The parameters of spray element of fan sprinkler are grounded (on the example of fan sprinklers for cotton ОБХН 28(А) in comparison with ОВХН-14).

Key words: polydisperse drops, stream forming devices, spray element.

Постановка проблемы. В технологии распыливания рабочих жидкостей химических препаратов вентиляторными опрыскивателями в борьбе против вредителей и болезней полевых и садовых культур важным параметром является конечная концентрация распыливаемой жидкости, наносимой на листовую поверхность в виде мельчайших капель разных по величине размеров. Концентрация нанесённого препарата зависит от показателей дисперсности распыла, густоты осадения капель, при этом не всегда учитывается процесс испарения капель при транс-

портировании их воздушным потоком вентилятора, который меняет концентрацию каждой капли рабочей жидкости от момента её образования до осадения на объект обработки.

Анализ литературы. Вопросами исследования процесса распыливания рабочих жидкостей вентиляторными опрыскивателями, путей сокращения расхода препаратов при гарантированном действии на объект обработки, дисперсности распыла и густотой осадения капель занимались учёные Г. Е. Церуашвили и Э. Г. Хачатурян [1], Ю. М. Веретенников и А. И. Чугу-

нов [2], Д. Г. Вайтюк [3], М. И. Штеренталь и др. [4]. Персистентность препарата в окружающей среде отмечены в работах Н. Н. Мельникова [5; 6], Ж. Н. Трублаевича и Б. А. Белоуса [7].

Технология распыливания рабочих жидкостей вентиляторными опрыскивателями исследована в работах Е. Г. Гушина [8], Р. Н. Бекирова [9], М. И. Штерентала и др. [4; 10; 11].

Цель статьи – определить изначальные размеры капель в момент их образования распыливающими устройствами вентиляторных опрыскивателей, основываясь на данных испытаний государственных машинно-испытательных станций (МИС), математически смоделировать процесс полёта (транспортировки) капель в воздушно-капельной струе, обосновать параметры распыливающего органа вентиляторного опрыскивателя.

Изложение основного материала. Как отмечают в своих исследованиях Г. Э. Церуашвили и Э. Г. Хачатурян [1], Ю. М. Веретенников и А. И. Чугунов [2], объёмный расход рабочей жидкости не всегда является предпочтительным параметром при сокращении расхода препарата. Для снижения расхода препарата более предпочтительным является исследования по определению оптимальной рабочей концентрации жидкости, не допустив её с целью гарантированного действия препарата на объект обработки.

Искажения происходят по той причине, что не всегда принимают во внимание показатели дисперсности распыла и густоты осаждения, не учитывается также процесс испарения, который существенно меняет концентрацию капли рабочей жидкости за период между моментом образования и осаждения на объект обработки. Это подтверждается и нашими исследованиями [9].

Продолжительность сохранения того или иного препарата во внешней среде обычно называют персистентностью [4; 7; 8], которая зависит как от физических, так и от химических свойств веществ (летучести, стабильности, устойчивости и др.).

Причем летучесть с некоторым приближением характеризуется величиной испаряемости препарата при данной температуре. Известно, что испарение капель чистого вещества в неподвижной атмосфере рассчитывается по формуле Лэнгмюра [8; 9]:

$$-\frac{d_m}{d_k} = 4\pi r D \times \frac{MP_{нас}}{RT}, \quad (1)$$

где $\frac{d_m}{d_k}$ – скорость испарения со всей капли

(убыль массы капли в секунду), г/с;

r – радиус капли, см;

D – коэффициент диффузии, см²/с;

$P_{нас}$ – давление насыщенного пара испаряющегося вещества, мм рт. ст.

R – газовая постоянная;

T – температура, К;

M – молекулярный вес вещества.

Учитывая то, что скорость испарения капель в движущемся воздухе значительно больше и соответственно время «жизни» капли короче, а при опрыскивании вентиляторным опрыскивателем скорость движения воздушного потока достигает 9 м/с [8], а существующие распылители ОВХ-28 и ОВХ-18А имеют полидисперсный состав распыливаемых капель в пределах 0...1000 мкм, правомочно предполагать, что отдельные мельчайшие капли распыливаемой рабочей жидкости, не долетев до объекта обработки, испаряются полностью, о чем говорит значительное повышение предела допустимой концентрации (ПДК) препарата в воздухе [8], при обработке полевых культур.

Другие капли, наложенные на объект обработки, в момент образования и вылета из сопла имели значительно большую массу и размер. Все капли распыленной рабочей жидкости, двигаясь в воздушно-капельной струе вентиляторного опрыскивателя с большой скоростью, имеют убыль по массе, а следовательно, и по размеру.

По данным МИС, имеем медиально-массовые диаметры (ММД) наложенных капель: минимальные – 50 мкм, средние – 160 мкм, крупные – до 800 мкм, при температуре окружающего воздуха – 35°С, среднее расстояние полёта капель – 10 м, состав рабочей жидкости: 95% и более – вода и до 5% – препарат, рабочее давление при выходе струи из насадков (наконечников) – 5кПа.

Размер капель в момент вылета из сопла – 50 мкм, первоначальная величина – 450 мкм; с момента вылета до момента наложения на объект произошло уменьшение в массе почти в 20 раз и по размеру в 6 раз; средние наложенные капли 160 мкм имели первоначальную величину в пределах 600...700, убыль массы капли с момента вылета до момента наложения составляет в шесть раз, а уменьшение размера – в 3,8 раза; крупные капли до 800 мкм имели первоначальную величину до 1000 мкм, убыль массы капли с момента вылета до момента наложения составляет 1,2 раза, а уменьшение размера – 1,5 раз.

Известно, что в спектре капель полидисперсного состава 0...1000 мкм более 65% составляет капли размерами до 35 мкм и менее, хотя они в общем объёме распыленной жидкости составляют не более 5% объёма распылен-

ной жидкости. Следовательно, этот спектр капель, не долетая до объекта обработки испаряется в воздухе, чем и повышается предельно допустимая концентрация, потеря рабочей жидкости составляет до 5%.

При распыливании рабочей жидкости пре-паратов вентиляторным опрыскивателем и на-ложении воздушно-капельной струи на обра-батываемый объект распыливаемые частицы пре-парата под действием сил тяжести и аэродина-мического сопротивления воздушной среды приобретают определённую траекторию и рас-пределяются на заданное расстояние.

Из схемы сил (рис. 1), действующих на ле-тящую под действием воздушного потока вен-тилятора частицу массой m , составили диффе-ренциальные уравнения движения этой частицы:

$$\begin{aligned} m \frac{dv_x}{dt} &= -C_x \frac{dx}{dt} d^2 x \rho v; \\ m \frac{dv_y}{dt} &= -mg \pm C_x \frac{dz}{dt} d^2 x \rho v; \\ m \frac{dv_z}{dt} &= -C_x \frac{dz}{dt} d^2 x \rho v, \end{aligned} \quad (2)$$

где d_x, d_y, d_z – скорость частицы по осям коорди-нат, м/с;

C – коэффициент сопротивления частицы, ус-ловно принятой в форме шара;

ρ – плотность сопротивляющейся воздушной среды, Н/м².

Граничным условием приняли критерий Рейнольдса:

$$C_x = f\left(\frac{1}{R_e}\right).$$

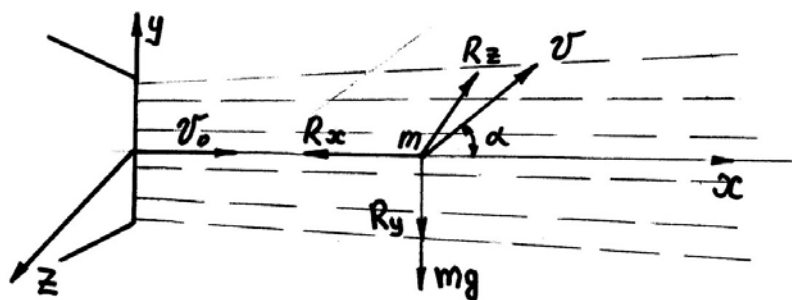


Рис. 1. Схема сил, действующих на летящую частицу препарата массой m в воздушной среде.

С помощью равенств дифференциальные уравнения привели к безразмерному виду:

$$\frac{m_0 v_0}{t_0} = \frac{x_0 d_0^2}{t_0} \rho_0 v_0 = \frac{y_0 d_0^2}{t_0} \rho_0 v_0 = \frac{z_0 d_0^2}{t_0} \rho_0 v_0 = m_0 g_0 \quad (3)$$

Аналогичным образом определили число независимых уравнений.

В качестве произвольных масштабов выбра-ли значения параметров, существенных для рас-сматриваемой задачи и определили все осталь-ные масштабы.

$$v_0 = (d_0 g)^{-\frac{1}{2}}; t = \left(\frac{d_0}{g}\right)^{-\frac{1}{2}}; g_0 = \frac{m}{d_0^3}; C_0 = \frac{v}{v d_0} \quad (4)$$

$$\text{Отсюда } \frac{v}{(d_0 g)^{-\frac{1}{2}}} = F_v \left(\frac{d}{d_0}; \frac{v d_0}{\gamma} \right), \quad (5)$$

где $\frac{v d_0}{\gamma} = R_e$ – критерий Рейнольдса;

γ – коэффициент кинематической вязкости сре-ды м²/с.

Приняв геометрическое подобие частиц препарата в производственных и моделируемых условиях

$$\left(\frac{d}{d_0}\right)_\Pi = \left(\frac{d}{d_0}\right)_M,$$

можно выполнить условия:

$$\begin{aligned} \left(\frac{v}{(d_0 g)^{\frac{1}{2}}}\right)_\Pi &= \left(\frac{v}{(d_0 g)^{\frac{1}{2}}}\right)_M \\ \left(\frac{v d_0}{\gamma}\right)_\Pi &= \left(\frac{v d_0}{\gamma}\right)_M. \end{aligned} \quad (6)$$

Следовательно, при моделировании полёта распыливаемых частиц рабочей жидкости пре-парата в сопротивляющейся воздушной среде необходимо и достаточно выполнить геометри-ческое подобие частиц препарата, сил инерции в системе (критерий Фруда) и подобие числа Рей-нольдса.

Анализ параметров опрыскивателя хлопко-вого ОВХ-28(А) в сравнении с предшествующей конструкцией опрыскивателя ОВХ-14, имевше-го более равномерное наложение капель воз-душно-капельной струи на объект обработки при опрыскивании колебательным рабочим ор-ганом в обе стороны от линии хода трактора по-казал более высокие параметры у ОВХ-28, чем у

ОВХ-14. За основу брали теорию геометрического подобия. При этом выявили, что скорость воздушного потока на выходе из сопла у опрыскивателя ОВХ-28 больше чем в 3 раза, а скоростной напор воздушного потока в 10 раз меньше, чем у опрыскивателя ОВХ-14.

Площадь поперечного сечения сопла распыливающего органа ОВХ-28 почти в 20 раз больше, чем у ОВХ-14, вследствие чего и идёт снижение скоростного напора у опрыскивателя ОВХ-28.

Зная скорость воздушного потока для дробления жидкости на мелкие капли 50–70 м/с и воздушно-капельной струи в межкустовое пространство – около 9 м/с для серийного опрыскивателя ОВХ-28 (с центробежным вентилятором сдвоенным типа Ц-55% 500), рассчитали необходимую площадь сечения сопла. При существующих характеристиках вентилятора сечение сопла должна быть не более 1000 см², тогда как у серийных ОВХ-28 и ОВХ-28А соответственно в 1,5 и 1,6 раза больше требуемого.

Выводы.

1. По данным МИС, медианно-массовые диаметры наложенных капель составляют: минимальные – 50 мкм, средние – 160 мкм, крупные – до 800 мкм.

2. При температуре окружающего воздуха 35°C, среднем расстоянии полёта капель 10 м, составе рабочей жидкости 95% и более – вода и до 5% – химпрепарат, рабочем давлении при выходе струи из струеобразующего устройства 5 кПа расчётным путём определили, что наложенные на объект капли размерами:

- 50 мкм имели первоначальную величину 450 мкм;
- 160 мкм (средние) имели первоначальную величину в пределах 600...700 мкм;
- 800 мкм (крупные) имели первоначальную величину до 100 мкм.

3. В спектре капель полидисперсного состава 0...1000 мкм более 65% составляют капли до 35 мкм и менее, хотя они в общем объёме распыленной жидкости представляют по объёму не более 5% от общего объёма распыленной жидкости. Этот спектр капель, не долетая до объекта обработки, испаряется в воздухе, что повышает предельно допустимую концентрацию (ПДК), и потери рабочей жидкости составляют до 5%. Это явление не желательно и с точки зрения нарушения экологии и загрязнения окружающей среды за счёт уноса ветром.

4. При моделировании полёта распыливаемых частиц (капель) рабочей жидкости препарата в сопротивляющейся воздушной среде необходимо и достаточно применить геометрическое

подобие частиц препарата, сил инерции в системе Критерий Фруда и Критерий числа Рейнольдса.

5. Для обеспечения процесса дробления рабочей жидкости, скорости воздушного потока в пределах 50...70 м/с, скорости вхождения воздушно-капельной струи в межкустовое пространство до 9 м/с сечение сопла вентиляторного опрыскивателя должно быть не более 0,1 м² (1000 см²), при комплектowaniu опрыскивателя центробежным вентилятором сдвоенного типа Ц-55/500.

ЛИТЕРАТУРА

1. Церуашвили Г. Е. Пестициды: на пути к сокращению расхода / Г. Е. Церуашвили, Э. Г. Хачатурян // Защита растений. – 1991, № 10. – С. 24.
2. Веретенников Ю. М. Некоторые вариации вокруг коэффициента вариации / Ю. М. Веретенников, А. И. Чугунов // Защита растений. – 1991. – № 3. – С. 13.
3. Войтюк Д. Г. Исследование технологического процесса распыла и транспортировки капель жидких ядохимикатов воздушным потоком : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Д. Г. Войтюк. – К., 1986. – 24 с.
4. Бекиров Р. Н. Как добиться равномерного распыла / Р. Н. Бекиров // Хлопок. – 1991. – № 5. – С. 34–37.
5. Штеренталь М. М. Определение размера капель при полевых испытаниях ультрамалообъёмных опрыскивателей / М. М. Штеренталь, Г. П. Чернобай, Б. В. Коцовский // Тракторы и сельхозмашины. – 1983. – № 9. – С. 22–23.
6. Трублаевич Ж. Н. Перистентность ГХЦГ в почве / Ж. Н. Трублаевич, Б. А. Белоус // Защита растений. – 1989. – № 7. – С. 30–34.
7. Гушин Е. Г. Исследование технологического процесса малообъёмного опрыскивания хлопчатника с целью оптимизации режимных и конструктивных параметров струеобразующего устройства вентиляторного опрыскивателя : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Е. Г. Гушин. – Ташкент, 1978. – 24 с.
8. Мельников Н. Н. О риске применения пестицидов / Н. Н. Мельников // Защита растений. – 1991. – № 9. – С. 12–13.
9. Мельников Н. Н. Химия пестицидов / Н. Н. Мельников. – М. : Химия, 1968. – 223 с.
10. Применение методов физического моделирования и математического планирования экспериментов к исследованию рабочих органов машин для внесения агрохимпрепаратов / [П. М. Марченко и др.]. – М. : Колос, 1974. – 108 с.
11. Дмитрачков В. П. Исследование пневматического распылителя для малообъёмного внесения рабочих жидкостей пестицидов : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / В. П. Дмитрачков. – Минск, 1970. – 24 с.

РАЗДЕЛ 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

УДК 621.396.946+537.531

Билялова Л. Р., Ситшаева З. З., Билялова Э. В.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В статье обсуждаются некоторые аспекты структуры и особенности организации систем сотовой связи. Приводится оптимальная оценка ее сложности в зависимости от мощности электромагнитного излучения базовых станций и мобильных устройств связи, а также топологических особенностей зон покрытия.

Ключевые слова: система сотовой связи, электромагнитное излучение, базовые станции, топология местности.

У статті обговорюються деякі аспекти структури й особливості організації систем сотового зв'язку. Наводиться оптимальна оцінка її складності в залежності від потужності електромагнітного випромінювання базових станцій та пристроїв мобільного зв'язку, а також топологічних особливостей зон покриття.

Ключові слова: система сотового зв'язку, електромагнітне випромінювання, базові станції, топологія місцевості.

The article deals with the questions of structure and features of the organization of systems of cellular communication. The optimal estimation of its complexity depending on power of electromagnetic radiation of base servers and mobile phones, and also topological features of cover zones is resulted.

Key words: cellular communication system, electromagnetic radiation, base servers, district topology.

Постановка проблемы. Одним из быстро развивающихся средств коммуникации является сеть сотовой связи (C^3). Интенсивно увеличивается количество и меняется качество производимых и продаваемых мобильных телефонов (МТ), модернизируются базовые станции (БС), изменяются другие технические устройства, обеспечивающие стабильность и качество связи, увеличение зон покрытия.

Анализ литературы Для обеспечения стабильной связи абонентов при их перемещениях в пространстве БС одного оператора мобильной связи объединяются в сеть [1].

Во время сеанса связи с БС выходная мощность электромагнитного излучения (ЭМИ) МТ изменяется в диапазоне от 0,001 до 1 Вт. Мощность излучения передающей антенны БС, на которой может быть установлено до 20 передатчиков, находится в диапазоне от нескольких Вт до 100 Вт, в среднем – от 5 Вт до 20 Вт и существенно зависит от применяемого стандарта связи, особенностей конструкции, параметров установки и размера обслуживаемой соты.

Работа всех радиопередающих устройств БС разных операторов, перекрывающих зону обслуживания, может создавать интегральный уровень электромагнитного шума, по некоторым оценкам примерно в 10^6 раз, превосходящий уровень природных электромагнитных возмущений.

Поскольку мощность ЭМИ уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния, удаленность МТ от БС приводит к увеличению выходной мощности телефонов для поддержания соединения. Поэтому БС должны быть расположены компактно, чтобы вместе обеспечивать повышенную мощность, а не зону покрытия. В то же время суммарная мощность излучения БС одного оператора должна быть достаточной для поддержания высокого уровня сигнала. Таким образом, возникает конфликт между уровнем качества мобильной связи и ограничениями на величину ЭМИ, создаваемого телекоммуникационными установками [2].

Объектом настоящей статьи является электромагнитное излучение высокотехнологичного оборудования системы сотовой связи, а предметом – зависимость его мощности от топологических характеристик системы.

Цель статьи – расчет оптимизации структуры C^3 на основе численного моделирования зависимости электромагнитного фона зоны покрытия от мощности электромагнитного излучения БС и мобильных устройств связи, а также топологических особенностей территории.

Изложение основного материала. Организация системы сотовой связи основана на принципе деления покрываемой территории на зоны (соты) радиусом обычно 0,5–2 км (в условиях городской застройки). БС располагаются в цен-

тре или узлах сот и обслуживают МТ, находящиеся в зоне их действия. Для охвата значительного числа пользователей и эффективного использования частотного спектра применяют многократное использование одних и тех же частот, а также различных методов доступа [3]. БС оснащены приемо-передающими устройствами, излучающими электромагнитную энергию в УВЧ диапазоне (300–3000 МГц) мощностью 5–10 Вт. Для обеспечения интеграции БС в сеть они дополнительно оснащаются комплектом приемо-передающего оборудования, работающего в диапазоне 3–40 ГГц.

В основном применяются два типа приемо-передающих антенн:

- слабонаправленные с круговой диаграммой направленности (ДН) в горизонтальной плоскости – тип «Omni»;
- направленные (секторные) с углом раствора (шириной) основного лепестка ДН в горизонтальной плоскости обычно 60° или 120°.

МТ излучает наибольшую мощность во время установления связи, а затем адаптивно меняет мощность излучения в зависимости от условий приёма – при плохом сигнале от базы повышает мощность передатчика до максимума (в городе до 0,6 Вт, в области до 2 Вт), а при хорошем приеме снижает до минимума – 0,01 Вт. Это можно заметить по скорости разряда аккумулятора [4]. Выборочные измерения уровня ЭМИ 32 МТ стандартов «NMT», «D-AMPS», «GSM» и «CDMA» показали, что на расстоянии 5 см от МТ уровень излучения составляет от 120 до 1400 мкВт/см². Максимальные уровни излучения МТ достигаются в первые 10–15 секунд работы. Измерения показали, что уровень излу-

чения определяется его местонахождением (расстоянием до ближайшей БС, экранирующими свойствами жилого помещения, этажом). Конечно, при проведении измерений в ближней зоне неправомерно утверждать об измерении фактически векторной величины – плотности потока мощности. Можно утверждать лишь о качественных измерениях, усредненных по апертуре теплового датчика прибора энергетических характеристиках МТ. К сожалению, научно обоснованные методики измерения уровня ЭМИ МТ в ближней зоне до настоящего времени отсутствуют [5].

Исследуем зависимость величины ЭМИ от количественных параметров, сложности и структуры С³ г. Симферополя. Площадь города составляет 107 км² [6] и простирается от центра примерно на 4 км с запада на восток и с севера на юг. Самая низкая точка расположена на высоте около 260 м (261,7 м н.у.м. в районе Промзоны). Учтем характерные точки x_1 (массив Маршала Жукова, 325,3 м н.у.м.), x_2 (микрорайон Ак-Мечеть, 349,1 м н.у.м.), x_3 (массив Мате Залки, 362,7 м н.у.м.), x_4 (микрорайон Пневматика, 454,8 м н.у.м.) [7]. По статистическим данным за 2007 год численность населения Симферополя составляла $N = 356,8$ тыс. человек [8]. Анализ топографической карты местности показывает, что расстояние от центра до x_1, x_2, x_3, x_4 равно примерно 4 км, а глубина c изменяется от 63,6 м до 193,1 м. Поэтому форму земной поверхности, занимаемой г. Симферополем, будем считать поверхностью вращения, а именно, поверхностью эллипсоида с полуосями: a м, $b = a$ м, c м. Тогда поверхность S будет описываться уравнением:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1, \quad 0 \leq x \leq a, \quad 0 \leq y \leq a, \quad -c \leq z \leq 0.$$

Вычислим площадь поверхности вращения [9]:

$$S = 2\pi \int_0^c r \sqrt{1+r'^2} dz,$$

где $r = \frac{a}{c} \sqrt{c^2 - z^2}$ и $r' = -\frac{a}{c} \cdot \frac{z}{\sqrt{c^2 - z^2}}$, откуда имеем:

$$\begin{aligned} S &= 2\pi \int_0^c \frac{a}{c} \sqrt{c^2 - z^2} \sqrt{1 + \frac{a^2}{c^2} \frac{z^2}{c^2 - z^2}} dz = \frac{2\pi a}{c} \int_0^c \sqrt{c^2 - z^2 + \frac{a^2 z^2}{c^2}} dz = \\ &= \frac{2\pi a \sqrt{a^2 - c^2}}{c^2} \int_0^c \sqrt{z^2 + \frac{c^4}{a^2 - c^2}} dz = \\ &= \frac{2\pi a \sqrt{a^2 - c^2}}{c^2} \left[\frac{z}{2} \sqrt{z^2 + \frac{c^4}{a^2 - c^2}} + \frac{c^4}{2(a^2 - c^2)} \ln \left(z + \sqrt{z^2 + \frac{c^4}{a^2 - c^2}} \right) \right] \Big|_0^c. \end{aligned} \quad (1)$$

МТ является направленным излучателем, но его направленное излучение (вдоль оси z) имеет пиковые значения в определенные моменты

времени, а большую часть времени мощность излучения слабее, и, очевидно, имеет случайное направление. Поэтому создаваемое совокупно-

стью МТ поле будем считать эквивалентным полю, создаваемому некими точечными источниками. Предположим, что точечные источники ЭМИ распределены по поверхности S равномерно, и их поверхностная плотность равна k .

Вычислим напряженность E электромагнитного поля, для чего введем систему полярных координат (z, r, φ) : $0 \leq r \leq a$; $0 \leq \varphi \leq 2\pi$; $-c \leq z \leq 0$ (рис. 1).

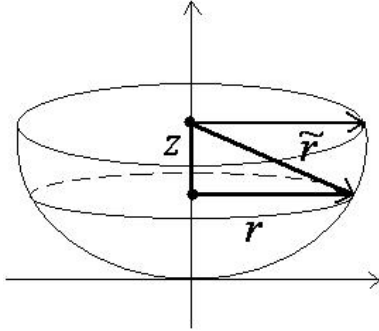


Рис. 1. Радиус-вектор точки поверхности в декартовых координатах.

Поскольку $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $\tilde{r} = \sqrt{r^2 + z^2}$ (см. рис. 1) и в декартовых координатах описание поверхности S имеет вид:

$$\begin{aligned} E &= \iint_S \frac{q^* ds}{\tilde{r}^2} = q^* \int_0^c dz \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^a \frac{ar}{\tilde{r}^3} dr = 2\pi a q^* \int_0^c dz \int_0^a \frac{r}{\sqrt{r^2 + z^2}} dr = \\ &= 2\pi a \cdot q^* \frac{1}{2} \int_0^c dz \int_0^a (r^2 + z^2)^{-1/2} dr^2 = \pi a q^* 2 \int_0^c \sqrt{r^2 + z^2} \Big|_0^a dz = \\ &= 2\pi a q^* \int_0^c (\sqrt{z^2 + a^2} - z) dz = 2\pi a q^* \left(\int_0^c \sqrt{z^2 + a^2} dz - \frac{1}{2} z^2 \Big|_0^c \right) = \\ &= \pi a q^* \left(z\sqrt{z^2 + a^2} + a^2 \ln(z + \sqrt{z^2 + a^2}) - z^2 \right) \Big|_0^c \end{aligned}$$

Таким образом,

$$E = \pi a q^* \left(c\sqrt{c^2 + a^2} + a^2 \ln(c + \sqrt{c^2 + a^2}) - c^2 - a^2 \ln(a) \right). \quad (2)$$

Предположим, что все БС имеют одинаковую мощность P и расположены в центрах сот, которые в совокупности покрывают всю площадь. Тогда количество БС, необходимое для покрытия всей зоны, удовлетворяет неравенству:

$$n \geq \frac{2S}{3\sqrt{3}P^2}. \quad (3)$$

Заметим, что условие (3) является необходимым условием для полного покрытия поверхности S .

Для того чтобы условие было достаточным, величина n должна удовлетворять еще и равенству:

$$n = 6m + 1. \quad (4)$$

$$\begin{cases} z = \sqrt{a^2 - r^2} = \sqrt{a^2 - x^2 - y^2} \\ x = x \\ y = y \end{cases},$$

то дифференциал ds поверхности равен:

$$\begin{aligned} ds &= \sqrt{1 + z_x'^2 + z_y'^2} = \sqrt{1 + \frac{x^2}{a^2 - r^2} + \frac{y^2}{a^2 - r^2}} = \\ &= \sqrt{\frac{a^2 - r^2 + x^2 + y^2}{a^2 - r^2}} = \frac{a}{\sqrt{a^2 - r^2}}, \end{aligned}$$

где $z_x' = -\frac{x}{\sqrt{a^2 - r^2}}$ и $z_y' = -\frac{y}{\sqrt{a^2 - r^2}}$.

Измерения поверхностной плотности потока ЭМИ МТ [10], показали, что ее значение для телефона Sony Ericsson K750i 191 мкВт/см².

Используя зависимость энергии от напряженности электрического поля в виде $E_0 = \sqrt{4\pi w}$ и учитывая, что $q = 4\pi\epsilon_0 E_0 l^2$ – заряд точечного источника [11], плотность распределения источников ЭМИ – $q^* = qk$, получим выражение для поверхностной плотности заряда:

$$q^* = 4\pi\epsilon_0 E_0 l^2 k = 4\pi\epsilon_0 \sqrt{4\pi w} l^2 k = 8\pi\epsilon_0 \sqrt{\pi w} l^2 k$$

и напряженности результирующего поля:

Из (1) и (2) вычислим поверхностную плотность устройств мобильной связи и напряженность результирующего поля, продуцируемого ими.

Вычислим среднюю глубину:

$$c = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n h_i = \frac{63,6 + 87,4 + 101 + 193,1}{4} = 111,275 \approx 111 \text{ м};$$

полуоси эллипсоида составляют $a = 4000$ м, $b = a = 4000$ м, $c = 111$ м.

Поверхностная плотность распределения МТ составляет:

$$k = \frac{N}{S} = 0,007 \frac{\text{ед}}{\text{м}^2}.$$

Согласно расчетам площадь поверхности $S = 50,18 \text{ км}^2$, поверхностная плотность заряда равна:

$$q^* = 8 \times 3,1415 \times 8,85 \times 10^{-12} \times \sqrt{3,1415 \times 1,9 \times 0,05^2} \times \frac{356800}{50,18 \times 10^6} \approx 9,7 \times 10^{-15},$$

а значение напряженности электрического поля составляет:

$$E = 3,14 \times 4000 \times 9,7 \times 10^{-15} \times (111 \times \sqrt{111^2 + 4000^2} + 4000^2 \times \ln(111 + \sqrt{111^2 + 4000^2}) - 111^2 - 4000^2 \ln(4000)) = 0,009.$$

Следует отметить, что при расчетах по рассматриваемой модели получено значение площади поверхности равное $50,18 \text{ км}^2$, которое меньше указанной в [6]. Это объясняется тем, что рассмотрен определенный вид зоны покрытия, не включающий некоторые удаленные районы города.

Расчеты показывают, что при среднем показателе напряженности электромагнитного поля для МТ $E_0 = 2\sqrt{3,14 \times 1,9}$, напряженность результирующего электромагнитного поля в Симферополе равна $0,009 \text{ В/м}$.

Предполагая, что все БС являются слабонаправленными с круговой ДН в горизонтальной плоскости (типа «Omni») с радиусом действия 1 км , используя (3) и (4), легко определить, что количество БС, достаточное для обеспечения устойчивой мобильной связи на территории города, равно 25.

Выводы.

1. Размещение высокотехнологического оборудования сети сотовой связи оказывает существенное влияние на параметры электромагнитного поля, создаваемого ими.

2. Численное моделирование характеристик электромагнитного излучения мобильных телефонов и совокупности базовых станций системы сотовой связи с учетом топологии их размещения позволяет получить количественную оценку для оптимизации ее структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный мобильный оператор «Киевстар» провел очередное заседание медиа-клуба «067» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.jankoy.org.ua/page.php?id=3311>.

2. Конгресс местных и региональных властей Европы. Восьмая сессия (Страсбург) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://elsmog.ru/index.php/stat.html attachment:/187/kongress.html>.
3. Сотовая радиотелефонная связь – гигиенически значимый источник электромагнитного поля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vrednost.ru/pole.php>.
4. Влияние на здоровье излучения сотового телефона. Плотность электромагнитного излучения мобильных телефонов при установке сотового ретранслятора [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gsmrepeater.ru/articles/?id=91>.
5. Добровольный и вынужденный экологический риск при воздействии электромагнитного излучения, создаваемого системами сотовой связи / [А. А. Гаврилов, Е. К. Нестеров, В. В. Оленьев, А. Ю. Сомов] // Известия Академии промышленной экологии. – 2002. – № 2. – С. 43–46.
6. Симферополь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ru.wikipedia.org/wiki/Симферополь>.
7. Топографические карты Крыма – километровки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.orangesmile.com/ru/foto/karta-krima.htm>.
8. Агентство «Контекст-медиа» по данным Главного управления статистики в АРК [Электронный ресурс] / Новости Крыма. – Режим доступа : <http://news.allcrimea.net/news/2008/2/25/1203945129/>
9. Марон И. А. Дифференциальное и интегральное исчисление в примерах и задачах / И. А. Марон. – М. : Наука, 1973. – 400 с.
10. Квятковский А. Как влияют на здоровье сотовая связь и мобильные телефоны: развеянные мифы, интересные факты и полезные советы [Электронный ресурс] / А. Квятковский. – Режим доступа : <http://technoportal.ua/articles.html/attachment:/107/4409.html>.
11. Савельев И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев. – Т. 2. Электричество. – М. : Наука, 1968. – 335 с.

УДК 620.2

Большаков А. П., Абдулгасис У. А.

ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КОНКУРЕНТНОМ СОПЕРНИЧЕСТВЕ

Розглядається необхідність безперервних і оперативних патентних досліджень з метою збереження та посилення конкурентних переваг. Рекомендується переглядати не тільки патенти, а й заявки на патенти. Велике значення надається довідковому відділу бюлетеня. Пропонується послідовність патентних досліджень в залежності від стратегії конкуренції.

Ключові слова: патентні дослідження, конкурентоспроможність, конкурентне суперництво, конкурентні переваги.

Рассматривается необходимость непрерывных и оперативных патентных исследований с целью сохранения и усиления конкурентных преимуществ. Рекомендуется просматривать не только патенты, но и заявки на патенты. Большое значение придается справочному отделу бюллетеня. Предлагается последовательность патентных исследований в зависимости от стратегии конкуренции.

Ключевые слова: патентные исследования, конкурентоспособность, конкурентное соперничество, конкурентные преимущества.

The necessity of continuous and rapid patent research in order to preserve and enhance competitive advantage. Best viewed not only patents, but patent applications. Much importance is attached to Help department bulletin. Proposed a sequence of patent research, depending on the strategy of competition.

Key words: patent research, competitive, competitive rivalry, competitive advantages.

Постановка проблемы. Дефицит многих товаров, существовавший в Советском союзе в недалеком прошлом, сменился их обилием. При этом антимонопольный комитет добивается того, что бы одни и те же группы товаров изготавливались несколькими производителями, конкурирующими между собой на рынке. Особенно обострилась конкуренция в связи с вхождением Украины в ВТО, что включает Украину уже в глобальную конкуренцию.

Анализ публикаций. Крупнейший авторитет в области стратегического планирования М. Портер утверждает, что необходимо «всеми средствами добиваться выгодного положения» в конкурентном соперничестве [1; с. 56]. К этим средствам относятся и оперативное систематическое и всестороннее использование информации по интеллектуальной собственности, регулярно публикуемой в бюллетени «Промислова власність». Приведенные в бюллетени патенты служат «техническим документом, отражающим, правда, не в прямом виде, наиболее передовые тенденции в технологии» [2; с. 82]. А именно технологии определяют в настоящее время мощь крупнейших фирм.

Несмотря на это, бюллетень «Промислова власність» используется крайне редко, хотя оперативное и всестороннее применение сведений, содержащихся в нем, становится объектом конкуренции. Об ограниченности использования бюллетеня свидетельствует исчезновение патентных фондов во многих организациях г. Симферополя. Эти фонды отсутствуют даже в ряде технических вузов, и у будущих инженеров нет возможности научиться в совершенстве работать с бюллетенем, получая при этом новейшие сведения о техническом прогрессе, хотя вузы призваны готовить инженеров, соответствующих современным конкурентным отношениям.

В г. Симферополе бюллетень «Промислова власність» систематически получает патентный фонд при Национальной академии природоохранного и курортного строительства, о чем многие инженеры и научные работники не знают.

Подробное освещение вопроса об использовании информации по интеллектуальной собственности, приведенной в бюллетени «Промислова власність», в конкурентном соперничестве установить не удалось, но указания о большом значении при этом патентных сведений отмечаются часто.

Цель статьи – показать значительные возможности использования сведений по интеллектуальной собственности, приводимых в бюллетени «Промислова власність», в усилении конкурентных преимуществ производителя, привлечь внимание преподавателей, студентов, производителей, работников библиотек к необходимости развития навыков пользования этими сведениями, не заслуженно игнорируемых зачастую в учебной, исследовательской и практической работе.

Изложение основного материала. Научно-технический прогресс проявился в непрерывном совершенствовании и создании новых технических решений, которые в своем большинстве патентуются и оперативно публикуются в бюллетени «Промислова власність», являющимся, таким образом, источником новейшей технической информации. Он не содержит лишь засекреченные государственные и фирменные сведения, а также конфиденциальные секреты, так называемые ноу-хау.

Бюллетень состоит из двух частей: первая часть посвящена изобретениям и полезным моделям, вторая часть – промышленным образцам и знакам на товары и услуги. Все материалы расположены в соответствии с международными классификациями.

Так, материалы по изобретениям и полезным моделям расположены в следующих восьми разделах в соответствии с Международной патентной классификацией (МПК):

- А – Удовлетворение жизненных потребностей;
- В – Различные технологические процессы;
- С – Химия и металлургия;
- D – Текстиль и бумага;
- E – Строительство, горное дело;

- F – Прикладная механика, освещение и отопление, двигатели и насосы; оружие и боеприпасы;
- G – Техническая физика;
- H – Электричество.

Внутри разделов патенты разложены по классам и подклассам и далее по группам и подгруппам.

МПК построена по двум признакам: функциональному и отраслевому. Поэтому некоторые технические решения могут находиться в том или ином разделе. Для ускорения нахождения описания патента в бюллетени используется алфавитно-предметный указатель (АПУ), позволяющий установить дробные рубрики патента – группу и подгруппу.

Преимущество в конкурентоспособности продукции создается ее потребительскими свойствами, являющимися интегрированным показателем ее многих характеристик, главные из которых – полезность, качество и цена. В настоящее время в связи с широким внедрением научных достижений в технику возросло значение наукоёмкости продукции, резко повышающей ее конкурентоспособность.

При систематических патентных исследованиях удается наметить основные направления развития потребительских свойств конкретных видов продукции и главные тенденции совершенствования и разработки новых технических решений, что способствует планированию освоения новых видов продукции и внедрению новейших технологий. Выявление этих тенденций является сложной задачей. Патентные исследования, конечно, не могут дать категоричные утверждения, но «...совокупность патентов в целом довольно объективно и отчетливо отражает сложные и не всегда понятные пути технического прогресса» [2; с. 82].

Методика определения тенденций развития технических систем при патентных исследованиях не разработана. В общих чертах она сводится к следующему. Изобретательская мысль всегда направлена на дальнейшее совершенствование технических объектов с целью повышения их потребительских свойств. Анализ изобретений, выполненных в разное время, позволяет определить главный вектор совершенствования технических объектов.

Следовательно, для определения этого вектора необходимо выписать все патенты, начиная с самого последнего по интересующей группе объектов на глубину, позволяющую наметить в общих чертах направление и закономерности совершенствования этой группы объектов. Нередко достаточно просмотреть патенты за последние два-три года.

Анализ выписанных патентов позволяет установить, какие свойства продукции все более совершенствуются и каким образом это выполняется. При этом необходимо выяснить, какие законы развития технических систем задействованы в изобретениях [3]. Если в изобретениях задействованы не все законы, то можно считать, что техническая система будет развиваться и дальше, и, следовательно, она имеет резервы развития. Наибольший интерес представляют технические системы, находящиеся на ранней стадии развития, но пользующиеся спросом. Необходимо проанализировать, какие потребности может удовлетворить при дальнейшем развитии данная техническая система и может ли сформировать у потребителя новые потребности. Эти технические системы относятся к самым перспективным. Если техническая система достигла в своем развитии физического предела, то она вскоре будет заменена новой.

Группа технических объектов по масштабам спроса определяет раздел бюллетеня для первоочередного детального изучения. Если технический объект относится к группе малого спроса, то первоочередному изучению подвергается раздел «А». Но ошибкой будет, если на этом заканчиваются все исследования. Полезные сведения можно найти также в разделе «D» и «С». Если объектом изучения являются технические устройства, которые рассредоточены по ряду разделов бюллетеня, то приходится рассматривать все разделы.

Использование патентных данных также является ареной конкуренции. Поэтому на наиболее интересные патенты незамедлительно делается запрос в патентное ведомство с просьбой выслать материалы по изобретению для их изучения. Чтобы опередить конкурентов, лучше сразу прибыть в Киев, ознакомиться с патентом, и в случае его большой ценности, с целью опережения конкурентов, приобрести лицензию, даже если не планируется его использование в ближайшее время. Это помогает сохранить конкурентные преимущества. Аналогичная работа выполняется и относительно патентов на полезные модели и промышленные образцы.

В бюллетене «Промислова власність» имеется обширный справочный раздел, использование которого ускоряет исследование бюллетеня и дает очень ценные сведения. Особое значение имеют сведения о прекращении действия патентов на изобретение, полезные модели и промышленные образцы на основании заявления собственника патента, окончания срока действия патента и в связи с неоплатой сбора на поддержание патента. Эти сведения иногда имеют решающее значение.

Безусловно, еще большую ценность имеют сведения по лицензионным договорам, свидетельствующие о том, что патент использован на практике или запатентованное техническое решение будет вообще не доступно третьим лицам. И то и другое точно указывает на действие конкурентов и тенденции развития техники. Сведения же о прекращении действия лицензий определяют неперспективные направления деятельности.

Стремление сохранить конкурентное преимущество или опередить конкурентов обязывает также просматривать заявки на изобретения, принятые на рассмотрение. Эта часть бюллетеня часто остается без внимания, так как в заявках указывается лишь название изобретения, и тем более, несомненно, большинство из них будет отклонено. Просмотр заявок ускоряется с использованием систематического указателя по рубрикам номеров заявок, имеющегося в справочном разделе бюллетеня. С наиболее интересными заявками следует ознакомиться, сделав запрос, что предусмотрено Законом Украины об охране прав на изобретения и полезные модели (ст. 16, п. 12). Самые интересные заявки необходимо держать под контролем, и если по ним будут приняты решения о выдаче патента, то эти патенты следует приобрести.

Выбор новой продукции при расширении производства планируется с ориентацией на процветающие фирмы. Но эти фирмы создают высокие барьеры для входа в их сегмент рынка новых конкурентов. Эти барьеры представлены использованием проверенных технологий и материалов, обеспечивающих низкие издержки, и высокой степенью дифференциации продукции, удовлетворяющей разнообразные требования. И все это запатентовано. К тому же процветающие фирмы имеют стойкий имидж и постоянно укрепляют доминирующее положение на рынке.

Но если все же барьеры кажутся преодолимыми, необходимо установить, к какой стадии жизненного цикла относится продукция. Этому также способствуют патентные исследования. Если будет установлено, что продукция относится к стадии зрелости, то ее не следует планировать к производству, несмотря на большой спрос, так как за время ее освоения в условиях ускоряющегося НТП эта продукция окажется устаревшей.

Необходимо ориентироваться на выпуск продукции, соответствующей стадиям возрастания, которая будет пользоваться длительным спросом. А лучше выбрать совершенно новую продукцию. Определение ее затруднительно даже для опытных экспертов. Важно правильно определить тенденции совершенствования про-

дукции, в чем большую помощь оказывают патентные исследования.

Преимущества в конкуренции в настоящее время создаются использованием новых наукоемких технологий. Поэтому на выбор технологии при организации нового производства обращается особое внимание. В бюллетени при этом просматриваются патенты на изобретения в разделе «В».

Успешное функционирование действующих фирм, выпускающих продукцию, относящуюся к стадиям роста, зрелости или насыщения, не должно ослаблять внимание за новыми патентами. Их цель – определение направления инвестиций для развития производства, выявление направления возможных действий со стороны конкурентов или появления новых конкурентов, которые могут организовать производство новых модификаций товаров данного назначения, товаров-заменителей или, используя новые технологии, резко снизить цену продукта. Важно предвидеть их действия и принять соответствующие меры по защите своих интересов, включая покупку лицензий, чтобы не потерять свое место на рынке. Выявленные наиболее значимые патенты покупаются.

Последовательное изучение всей содержащейся в бюллетени информации по промышленной собственности требует много времени, что недопустимо при острой конкурентной борьбе, когда запаздывание, например, в приобретении лицензии, может сказаться на потере части конкурентных преимуществ. Поэтому изучение информации вначале проводится избирательно, с учетом осуществляемой фирмой конкурентной стратегии.

Выделяется четыре вида конкурентной стратегии [4; 5]. Силовая (виолетная) стратегия характеризуется ценовой конкуренцией. Она используется крупными монополиями. Конкурентные преимущества достигаются производством больших объемов продукции, рассчитанной на массовый спрос. Главным является снижение цены продукции, что в первую очередь достигается за счет масштабов производства и использованием новейших наукоемких технологий. Детальное изучение раздела «В» бюллетеня может быть при этом очень полезным. В других разделах бюллетеня также могут оказаться ценные сведения по новейшим технологиям.

Нишевая (патентная) стратегия ориентирована на неценовую конкуренцию, в основе которой находится дифференциация продукции. Эта стратегия применяется фирмами от мелких до крупных. Конкурентное преимущество достигается производством и продажей небольших объемов уникальной продукции высокого качества,

ориентированной на требовательного покупателя. Это обеспечивает живучесть рыночной ниши, не представляющей интереса для крупных фирм. При патентных исследованиях первоочередным является изучение патентов по техническим решениям по всем разделам бюллетеня, а также анализ патентов на промышленные образцы.

Приспособленческая (коммутантная) стратегия, характерная для мелких и средних фирм, направлена на быстрое удовлетворение небольших по объемам часто изменяющихся локальных потребностей. Изучение второй части бюллетеня – промышленных образцов – может способствовать нахождению новых предложений потребителям и стимулировать создание новых модификаций товаров.

В случае изготовления простых комплектующих частей для крупных фирм патентные исследования направляются на поиск более эффективных технологий с целью снижения производственных издержек. В первую очередь изучается раздел «В».

Пионерная (эксплерантная) стратегия, характерная для средних и мелких фирм, ориентирована на радикальные нововведения с целью разработки новой продукции и привития покупателям новых потребностей. Эта стратегия отличается высоким риском, так как не всегда новый товар оказывается востребованным. Конкурентоспособность при этой стратегии обеспечивается высокой наукоемкостью и высокой технологичностью продукции, трудно достижимой за короткий срок другими производителями.

Патентные исследования при данной стратегии проводятся очень детально по всему спектру патентной информации. Их цель – выявить новые и дальние перспективы развития потребительских свойств продукции и спланировать

необходимые научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по созданию новой продукции.

Выводы. Обостряющаяся конкуренция между производителями Украины, перерастая в глобальную в связи с вхождением страны в ВТО, обязывает каждого субъекта использовать любой шанс для сохранения и усиления конкурентных преимуществ в борьбе за выживание. Все большую ценность приобретает оперативное систематическое исследование непрерывно поступающей информации по интеллектуальной промышленной собственности. Эти исследования также являются теперь ареной конкуренции. Задачей их является опережение конкурентов в получении новейших сведений с целью практического использования.

Необходимо добиваться повышения интереса студентов и инженеров к новейшим патентам и прививать каждому студенту стремление в получении этой информации и использовании ее в научной работе и подготовке курсовых и дипломных проектов. Отсутствие патентных фондов можно частично компенсировать получением информации через Интернет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Портер М. Э. Конкуренция / Майкл Э. Портер ; [пер. с англ.]. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 608 с.
2. Силин А. А. На тропе в будущее / А. А. Силин. – М. : Знания, 1989. – 206 с.
3. Альтшуллер Г. С. Найти идею / Г. С. Альтшуллер. – Новосибирск : Сибирское отделение издательства «Наука», 1986. – 209 с.
4. Должанский І. З. Конкурентоспроможність підприємства : навчальний посібник / І. З. Должанський, Т. О. Загорна. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 384 с.
5. Юданов А. Ю. Конкуренция: теория и практика / А. Ю. Юданов. – М. : ПЭМ, 1996. – 272 с.

НАШИ АВТОРЫ

1. **Абдулгасис Азиз Умерович** – старший преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
2. **Абдулгасис Дилявер Умерович** – преподаватель кафедры профессиональной педагогики и инженерной графики Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
3. **Абдулгасис Умер Абдуллаевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта автомобилей, декан инженерно-технологического факультета Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
4. **Абдурайимов Ленмар Нариманович** – преподаватель кафедры информационно-компьютерных технологий Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
5. **Алексеев Олег Павлович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой мехатроники Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
6. **Артемов Николай Прокофьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и тракторы» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенко, г. Харьков
7. **Бабицкий Леонид Федорович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации, энергетики и технического сервиса Южного филиала Национального аграрного университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь
8. **Байцур Максим Вячеславович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
9. **Бекиров Расим Нафеевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры охраны труда в машиностроении и образовательных учреждениях Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
10. **Бекиров Леннур Расимович** – аспирант кафедры стандартизации и сертификации качества сельскохозяйственной продукции Херсонского национального технического университета, г. Херсон
11. **Билялова Лилия Ремзиевна** – кандидат географических наук, доцент, декан факультета информатики Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
12. **Билялова Элина Владимировна** – студентка 4 курса специальности «Социальная информатика» Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
13. **Большаков Антон Парфенович** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры технологического образования Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
14. **Волков Владимир Петрович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации и сервиса автомобилей Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
15. **Доброскок Владимир Ленинмирович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры интегрированных технологий машиностроения им. М. Ф. Семко НТУ «Харьковский политехнический институт», г. Харьков
16. **Иззетов Надир Абдураманович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
17. **Ким Владимир Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения и технологии новых материалов Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия)

18. **Клец Дмитрий Михайлович** – аспирант кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
19. **Лебедев Анатолий Тихонович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и тракторы» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенко, г. Харьков
20. **Менумеров Эреджеп Ришадович** – преподаватель кафедры технологического образования Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
21. **Мищук Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, советник Инженерной академии Украины, доцент кафедры механизации, энергетики и технического сервиса Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь
22. **Османов Эрнес Рустемович** – магистрант кафедры технологии машиностроения Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
23. **Падерин Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры профессиональной педагогики и инженерной графики Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
24. **Полянский Александр Сергеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
25. **Подзноев Геннадий Петрович** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
26. **Подригало Михаил Абович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения и ремонта машин Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, г. Харьков
27. **Ситшаева Зера Зекерьяевна** – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой информационно-компьютерных технологий Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
28. **Усеинов Бекир Кязимович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии сварочного производства Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
29. **Хачикова Ия Сергеевна** – магистрант кафедры технологии машиностроения Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
30. **Чернышов Сергей Иванович** – кандидат технических наук, главный консультант ЗАО «Верификационные модели», г. Харьков
31. **Шелудченко Владимир Витальевич** – ассистент кафедры «Тракторы и сельскохозяйственные машины» Сумского национального аграрного университета инженерно-технологического института, г. Сумы
32. **Эреджепов Марлен Керимович** – старший преподаватель кафедры эксплуатации и ремонта автомобилей Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
33. **Якубов Февзи Якубович** – доктор технических наук, профессор, ректор Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь
34. **Якубов Чингиз Февзиевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Республиканского высшего учебного заведения «Крымский инженерно-педагогический университет», г. Симферополь

НАУКОВЕ ВИДАННЯ
*ВЧЕНІ ЗАПИСКИ КРИМСЬКОГО ІНЖЕНЕРНО-
ПЕДАГОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ*

Випуск 24

Технічні науки

(Мовою оригіналу)

Головний редактор Якубов Ф. Я.
Заступники головного редактору Кропотова Н. В., Абдулгасіс У. А.
Відповідальний за випуск Фазилова А. Р.
Коректура та верстка Сейтаблаєва Е. А.

Підписано до друку 25.10.2010 р. Формат 60×84¹/₈.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Обл.-вид. друк. арк. 8. Об'єм 10,75 друк. арк.
Тираж 100 прим.

Підготовлено до друку та віддруковано
у редакційно-видавничому відділі Науково-інформаційного центру
Республіканського вищого навчального закладу «Кримський інженерно-педагогічний університет»
95015, м. Сімферополь, вул. Севастопольська, пров. Учбовий, 8