



УДК 621.313.1

А.Ю.Волков

Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б. Ельцина, г. Бишкек

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАГРУЗКИ НА ЕГО ВАЛУ**

Во многих отраслях науки, техники и производства требуются операции позиционирования объекта или его перемещения по заданной траектории. Причем операция перемещения объекта должна производиться с высокой точностью и скоростью, так как непосредственно связана с качеством продукции и производительностью рабочего процесса. Потребность в точных и быстрых перемещениях объекта (изделия) испытывают многие технологические процессы, например металлообработка. Это способствует уменьшению износа инструмента в процессе обработки детали, установке инструмента или детали в заданные координаты с прецизионной точностью, обеспечению прецизионного слежения.

В связи с этим возникает потребность в применении быстродействующих приводов, обеспечивающих перемещение различных исполнительных механизмов с прецизионной точностью и высокой скоростью.

В настоящее время широко известны и находят применение системы подачи рабочего инструмента и установки обрабатываемой детали в заданные координаты с прецизионной точностью с использованием шаговых двигателей (ШД) в качестве исполнительного инструмента со специальными схемами управления. ШД относится к элементам дискретной автоматики, позволяющей непосредственно преобразовывать дискретную информацию в виде импульсов в дозированные перемещения позиции рабочего инструмента. Системы на основе ШД естественным образом сочетаются с цифровыми управляющими устройствами, программными блоками, микропроцессорами и широко используются в металлообрабатывающих станках, в приводах координатных столов и гибких автоматических линиях.

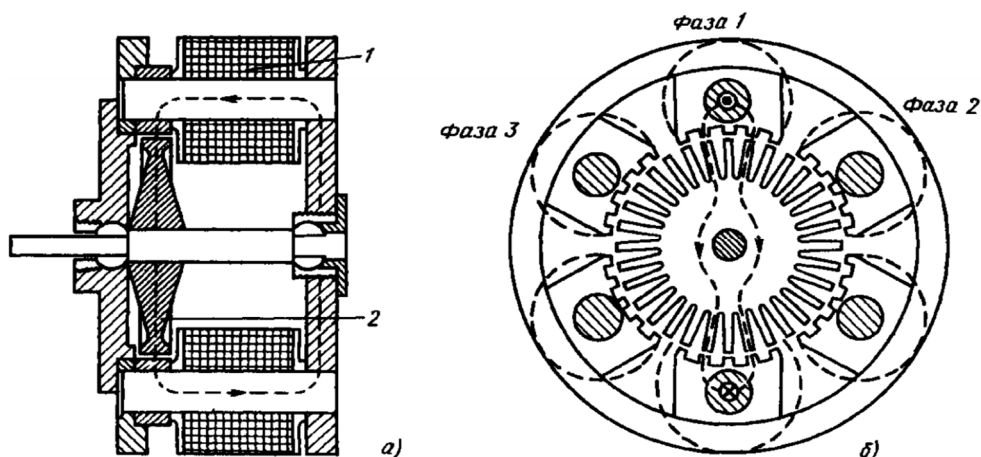


Рисунок 1 - Устройство ШД: 1 - обмотка статора; 2 - ротор

На рис.1,а,б представлены соответственно продольное и поперечное сечения ШД. Зубцы ротора имеют тот же шаг, что и зубцы на полюсах статора. Когда возбуждается фаза 1 и магнитный поток проходит по пути, отмеченному пунктиром, группа зубцов ротора устанавливается напротив зубцов статора этой фазы (рис.1,б). В этом положении зубцы статора и ротора, соответствующие фазам 2 и 3, смещены относительно своих положений равновесия на 1/3 шага зубцов в разные стороны. Когда ток управления переключается с фазы 1 на фазу 2, ротор поворачивается по часовой стрелке на единичный угол (один шаг), если же ток управления подается на фазу 3, движение произойдет против часовой стрелки на тот же угол.

В таких системах импульсы управления поступают на ШД от внешнего источника, и принято допущение, что ШД в состоянии среагировать на каждый из них. Это допущение используется в приводе без обратной связи. Он имеет свои преимущества и широко используется в управлении частотой вращения либо позиционированием. Однако в этом случае возможности ШД ограничены. Например, ШД с управлением без обратной связи может пропустить один или несколько импульсов управления, если частота следования импульсов или инерция нагрузки слишком велики. Приведенные ниже графики показывают, что точность ШД снижается с увеличением нагрузки, т.е. чем больше нагрузка, тем чаще пропуски импульсов управления. При этом теряются шаги поворота ротора ШД, следовательно, снижается точность позиционирования (перемещения) рабочего инструмента.

Причины здесь следующие. Предположим, что ротор движется к положению равновесия фазы, возбужденной в настоящий момент. Так как сила магнитного поля при приближении ротора к положению равновесия понижается, то двигатель может остановиться до положения равновесия в той точке, где статические силы магнитного поля и трения равны и противоположно направлены. То есть при осуществлении некоторых шагов ротор не сразу достигает следующего положения равновесия, поэтому количество шагов, выполненных ротором ШД, будет меньше заданного программно.

Для практической проверки точности выполнения команд шаговым двигателем следует подавать на ШД управляющие сигналы, заставляющие ротор ШД равномерно поворачиваться в одном направлении.

Уравнение шага ротора в зависимости от нагрузки [1], полученное путем двойного интегрирования уравнения динамики ШД:

$$x(t) = (M - M_1) \cdot \frac{k}{2} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^2, \quad (1)$$

где M и M_1 - крутящий момент на валу ротора ШД и момент от нагрузки, соответственно, Н·м; k - коэффициент усиления данного звена, 1/(Н·м); t - время, с; $T = 0,0114$ с - период, характеризующий инертность системы.

Уравнение для нахождения угла поворота ротора ШД в градусах:

$$\varphi = \alpha \cdot x, \quad (2)$$

где $\alpha = 1,8^\circ$ - угол шага ротора ШД.

На рис. 2 приведены аналитическая зависимость $\varphi(t)$, рассчитанная по формуле (2) с учётом (1), и зависимость, построенная по данным эксперимента.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы: по результатам эксперимента и аналитических расчетов был построен график зависимости угла поворота ШД от времени. Из графика следует, что при увеличении нагрузки на вал ШД он может

пропускать управляющие команды, выполняя заданный поворот с погрешностью.

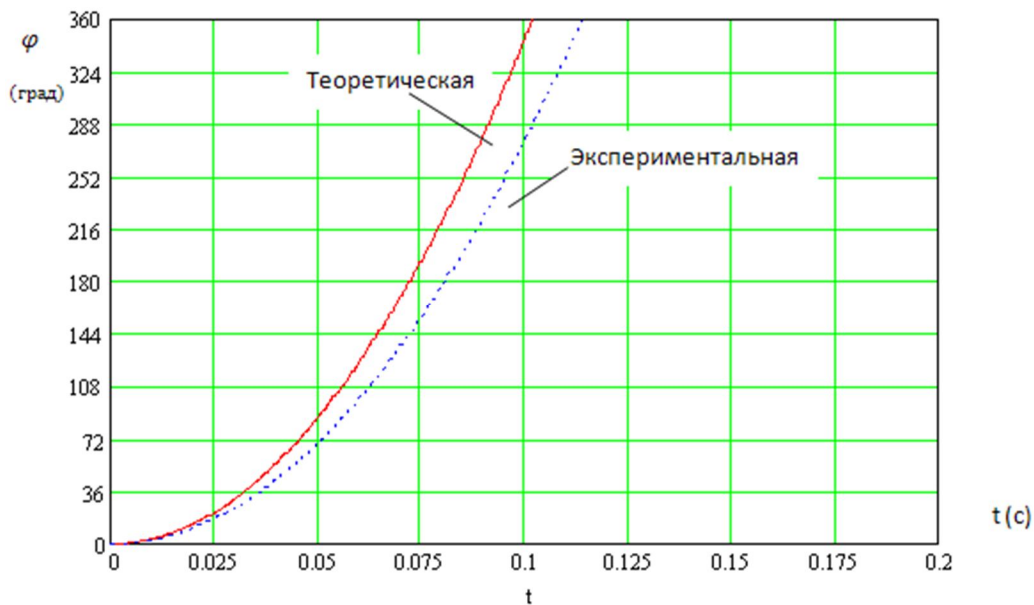


Рисунок 2 - Временная зависимость угла поворота ротора ШД при начальных нулевых значениях

В высокоточном машиностроении и приборостроении, где требуются малые абсолютные перемещения и высокая разрешающая способность рабочего инструмента, для контроля и корректировки угла поворота ротора ШД необходимо применение обратной связи.

Список литературы

1. Емельянов А.В. Шаговые двигатели: Учеб. пособие / А.В. Емельянов, А.Н. Шилин. - Волгоград, 2005. - 48 с.

Получено 29.01.2014

УДК 539.43:543.42:539.26:539.25

Л.А. Горбачев, Н.А. Гусева, А.И. Недобитков

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПРИЧИНЫ АВАРИЙНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОЛУОСИ АВТОМОБИЛЯ

При анализе причин различных аварийных ситуаций, как правило, возникает много вопросов, ответ на которые можно дать только при условии комплексного анализа с учетом всех факторов, даже тех, которые могут показаться несущественными.

При достаточно благоприятных погодных условиях, хорошей видимости и при сравнительно невысокой скорости движения произошло опрокидывание автомобиля ВАЗ-2006. В результате опрокидывания были повреждены различные элементы автомобиля, в

том числе обломана правая полуось по сечению посадки во внутреннем кольце подшипника (рис. 1).

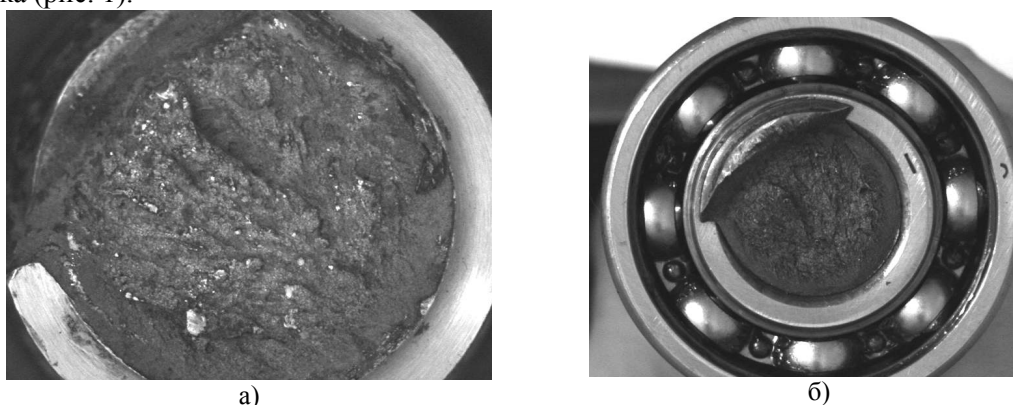


Рисунок 1- Вид излома полуоси:
а) - вид со стороны фланца; б) - вид со стороны подшипника

Комиссия в составе дорожной полиции и дилеров «АвтоВАЗ» на основании изучения схемы происшествия, анализа характера повреждений частей автомобиля пришла к заключению, что полуось разрушилась в результате удара при опрокидывании. Причина аварии – вина водителя (сейчас это называют «человеческий фактор»). В компенсации ущерба водителю было отказано. Водитель с таким заключением не согласился и обратился в независимую экспертизу.

При экспертизе в первую очередь было учтено пояснение водителя: внезапно появился резкий нарастающий звук в правом заднем колесе, автомобиль стал терять управляемость, поэтому водитель повернул влево, после чего автомобиль опрокинулся. Дальнейший анализ показал, что если бы водитель повернул вправо, то последствия аварии были бы гораздо серьезнее.

На основании этой информации, а также с учетом анализа характера излома в месте разрушения полуоси, были сделаны предварительные выводы:

1. Полуось имела производственные дефекты (или дефект). Качественно изготовленная полуось имеет большой запас прочности и при таком достаточно «мягком» опрокидывании разрушиться не могла.

2. Усталостный излом (рис. 1) имеет строение и структуру, характерную для интенсивного усталостного разрушения. Резкий звук, появившийся в правом заднем колесе перед опрокидыванием, – однозначный признак усталостного долома.

3. Пробег автомобиля до аварии - менее 10 000 км. Это должно означать, что вследствие наличия дефекта (или дефектов) в материале полуоси усталостная трещина (или трещины) возникла в ранней стадии, интенсивно развивалась и привела к преждевременному разрушению.

Для выяснения причин разрушения был выполнен комплекс исследований.

Полуоси для этого класса автомобилей изготавливаются из среднеуглеродистых сталей 35; 40; 40X; 45X и др. Заготовки полуосей получают посредством обработки давлением с последующей механической и термической обработкой токами высокой частоты (т.в.ч.).

Задачей комплекса исследований было установить, насколько физико-механические характеристики материала исследуемой полуоси соответствовали техническим требованиям.

Проведена проверка химического состава материала полуоси, данные химического анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав материала полуоси

Химический элемент	Процентное содержание, %
Углерод	0,39
Марганец	0,66
Кремний	0,23
Хром	0,1

На основании результатов проведенного химического анализа следует вывод, что материал исследуемой полуоси соответствует сталям 35; 40 (ГОСТ 1050-74).

Твердость по сечению диаметра стержня полуоси (без упрочненного слоя) составила НВ 179-187. Результаты измерения твердости, включая упрочненный слой, HRC (две серии замеров) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения твердости по сечению полуоси

Номер точки	Серия	
	1	2
1	52	48
2	50	49
3	34	48
4	14	25
5	6	8

Участок измерений показан на рис. 2. Верхняя линия отпечатков индентера - первая серия (отпечаток слева, соответствующий твердости закаленного слоя HRC 52, сошлифован при изготовлении микрошлифа), нижняя линия – вторая серия (отпечатки слева, соответствующие твердости HRC 48; 49, сошлифованы).

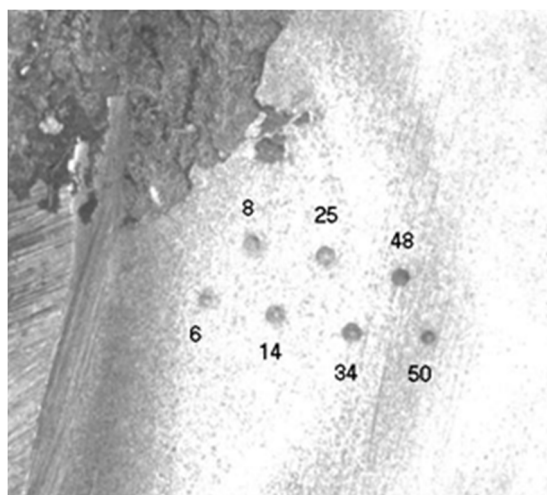


Рисунок 2 - Схема измерения твердости (цифры у отпечатков – значение твердости)

На основании вышеизложенного можно сделать следующий вывод: твердость по сечению излома техническим требованиям соответствует.

Проведена оценка глубины упрочненного слоя. На макрошлифе по сечению излома выявлены три зоны:

- первая (светлая) – закаленный слой (твердость HRC 52-53);
- вторая (темная) – переходный слой (твердость HRC 48- 50);
- третья (светлая) – сердцевина (твердость HB 179-187).

Глубина упрочненного слоя (включая переходной слой) составила 5 мм.

Характер расположения зон по сечению излома и их твердость техническим требованиям соответствуют.

Для оценки микроструктуры материала сердцевины (неупрочненного при термической обработке) был приготовлен микрошлиф образца по сечению диаметра вала полуоси в плоскости, перпендикулярной оси вала. Микроструктура шлифа приведена на рис. 3.

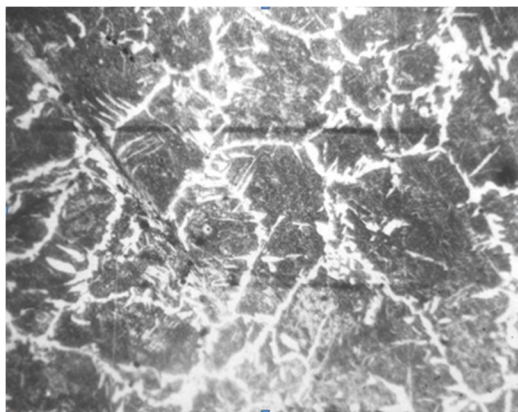


Рисунок 3 - Микроструктура материала полуоси под упрочненной зоной. $\times 115$

Из анализа микроструктуры следует, что она представляет собой перлит пластинчатый и феррит с участками виндманштеттовой структуры. Балл зерна - 3-2 (рис 4). Это означает, что перед поверхностной закалкой полуось не нормализована.

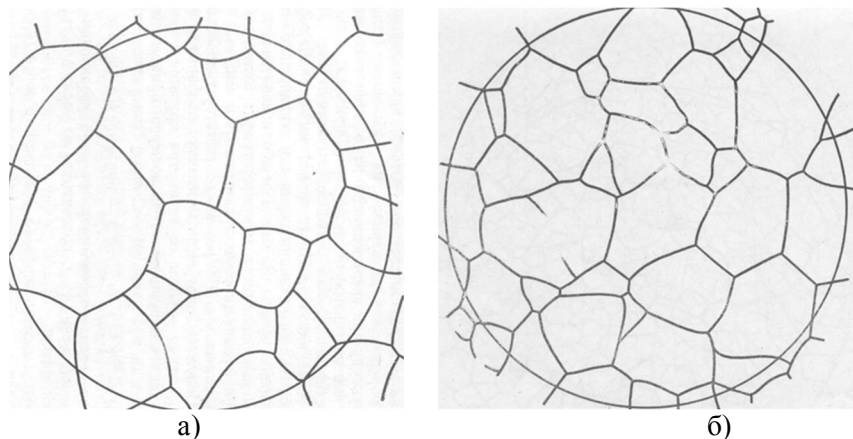


Рисунок 4 - Определение балла зерна по шкале размеров зерна: а) второй балл; б) третий. $\times 100$
Специалистам хорошо известно, что установка детали с такой структурой в узлы, работающие в условиях сложного циклического нагружения, недопустима. Если бы операция нормализации была выполнена, то перед закалкой поверхностного слоя полуоси материал имел бы требуемую структуру и свойства, поэтому аварийное разрушение этой полуоси было бы исключено.

Для доказательства этот образец был нормализован по режиму: температура нагрева - 870 градусов, время выдержки - 25 минут, охлаждение на спокойном воздухе.

На рис. 5 показана микроструктура образца после нормализации, а на рис. 6 – шкала баллов.

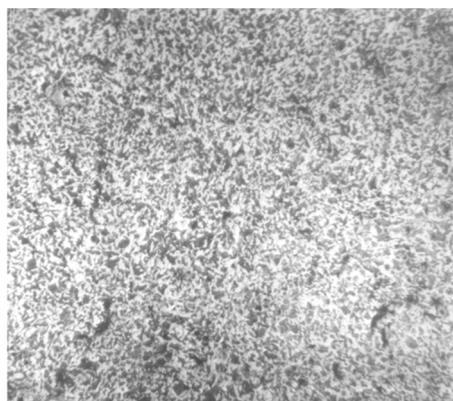


Рисунок 5 - Микроструктура образца после нормализации. $\times 115$

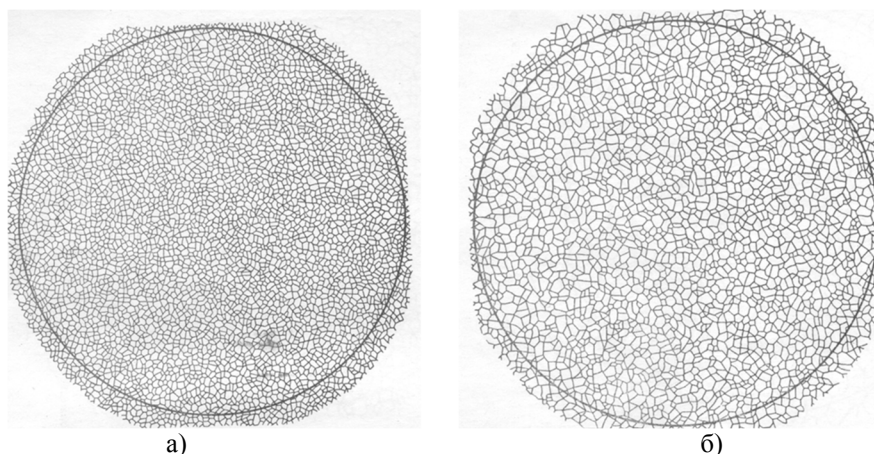


Рисунок 6 - К определению балла зерна нормализованного образца:
а) десятый балл; б) девятый. $\times 100$

Из анализа рис. 5 и 6 следует, что после нормализации микроструктура представляет собой мелкозернистую смесь сорбитообразного перлита и феррита, а балл зерна после нормализации снизился с номера 3-2 до номера 10-9. Дефектность структуры анализируемой полуоси, показанной на рис. 3, устранена полностью.

Именно такая структура обуславливает высокие физико-механические характеристики деталей, воспринимающих сложное циклическое нагружение, характерное для условий работы полуоси автомобиля.

Известно [1], что при наличии поверхностного упрочненного слоя начало разрушения под действием циклических нагрузок происходит не на поверхности, а под упрочненным слоем.

При усталостном разрушении изделий (или образцов) с такой дефектной структурой материала нельзя ожидать классического вида поверхности излома - наличия фокуса излома, очага разрушения и участка избирательного развития трещины [2]. В данном случае разрушение имело многоочаговый характер с учетом сложности нагружения (кручение и различные виды циклического изгиба).

На рис. 7 показан вид излома со стороны подшипника.



Рисунок 7 - Вид излома со стороны подшипника

Данные рис. 7 показывают, что веерообразные линии на поверхности разрушения, ориентированные в сторону участка долома, свидетельствуют о многоочаговости усталостного разрушения. Светлые пятна на рисунке - результаты циклического контактирования поверхностей разрушения.

Разрушение происходило по схеме циклического нагружения с концентратором напряжения. Концентратором (или концентраторами) при разрушении полуоси послужил слой дефектной структуры под упрочненным (закаленным) поверхностным слоем. Усталостная трещина по сечению дефектной сердцевины развивалась интенсивно, и по исчерпанию прочностных связей произошло разрушение по всему сечению.

Однозначный вывод по результатам данного исследования – аварийное разрушение полуоси обусловлено дефектной структурой её материала. Она разрушилась не от удара при опрокидывании автомобиля – это автомобиль опрокинулся из-за разрушающейся на ходу полуоси (стадия усталостного разрушения – долом).

По результатам исследования была оформлена экспертиза, на которую соответствующие службы «АвтоВАЗ» отреагировали оперативно и объективно – потерпевшему водителю был выделен новый автомобиль и был выполнен комплекс мероприятий, исключающий подобные нарушения технологии.

Список литературы

1. Лахтин Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1980. – 318 с.
1. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. Справочник. – М.: Металлургия, 1978. – 482 с.

Получено 17.01.2014

УДК 621.919.2

Н.С. Дудак, Г.Т. Игыбаева, Ж.К. Мусина, А.Ж. Касенов, А.Ж. Таскарина
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар
Т.Б. Курмангалиев

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

КОНСТРУКЦИЯ ПРОТЯЖКИ ПРОФИЛЬНОЙ СХЕМЫ РЕЗАНИЯ С ВИНТОВЫМИ РАВНОШИРОКИМИ ЗУБЬЯМИ

Для чистовой обработки отверстий 7-8 квалитета точности и шероховатости поверхности $R_a=0,32...2,5$ мкм в основном применяется протягивание, обеспечивая высокую производительность труда.

Процесс протягивания выполняется только за счёт одного главного движения инструмента вдоль оси обрабатываемой поверхности, определяющего скорость резания. Движение подачи обеспечивается последовательно расположенными разновысотными режущими зубьями.

Профиль обрабатываемой поверхности зависит от формы профиля режущей кромки зубьев. Проектируются протяжки индивидуально для обработки поверхностей требуемого профиля, размера и точности, поэтому они являются инструментом специального назначения и используются в крупносерийном и массовом производстве.

Процесс протягивания выполняется с разными схемами резания. Различают следующие основные схемы резания: профильную; прогрессивную или переменного резания; генераторную (рис. 1).

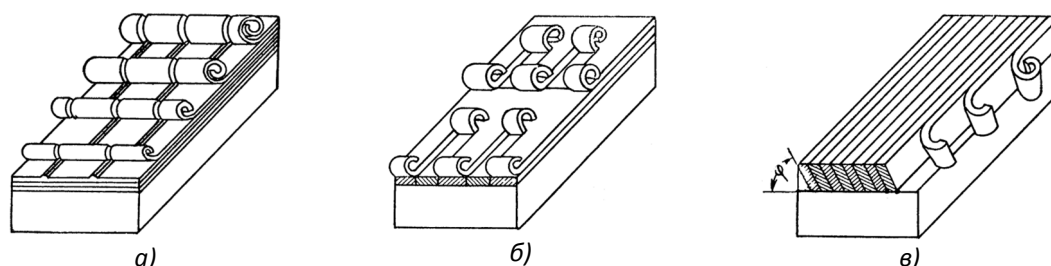


Рисунок 1 – Схемы резания при протягивании

Профильная схема резания (рис. 1,а) характеризуется тем, что, начиная с первого зуба, контур всех зубьев подобен (эквидистантен) окончательному профилю обработанной поверхности. В результате все зубья режущей части, за исключением последнего, выполняют предварительную обработку по формированию заданного профиля на детали. Точность и качество обработанной поверхности детали определяется последним зубом режущей части. Длина главной режущей кромки этого зуба максимальна, и для уменьшения силы резания подъем на зуб S_z здесь должен быть минимальным. Основным недостатком профильной схемы резания является технологическая сложность изготовления профиля зубьев режущей части.

При прогрессивной схеме резания (рис. 1,б) срезание припуска производится зубьями, имеющими укороченную длину главных режущих кромок. Режущее лезвие протяжки делят по длине и подъёму на зуб S_z . Таким образом, вместо одного зуба срезание слоя производится двумя зубьями режущей части. Это позволяет распределить нагрузку, приходящуюся на зубья протяжки, равномерно вдоль всей длины режущей части, что ведёт к увеличению необходимого числа режущих зубьев.

При генераторной схеме резания (рис. 1,в) каждый зуб частично формирует окончательный профильный контур обрабатываемой детали своим вспомогательным лезвием. Наибольшую длину главной режущей кромки имеет первый зуб режущей части. Далее она уменьшается и минимальна для последнего зуба. Связанное с этим постепенное уменьшение силы резания благоприятно сказывается на условиях работы зубьев калибрующей части и позволяет повысить точность и качество обработанных поверхностей. Кроме того, зубья протяжек, предназначенных для работы по генераторной схеме резания, легче изготавливать и перетачивать. Недостаток генераторной схемы – большая длина режущей кромки первых зубьев и её кривизна, затрудняющая свёртывание образовавшейся стружки в валик. При генераторной схеме резания протяжка получается очень сложной в изготовлении, т.к. каждый зуб нужно обрабатывать отдельно, поэтому для обработки отверстия не применяется.

При профильной, а также прогрессивной схемах резания зубья протяжки работают за пределами наклёпанного слоя, увеличивая стойкость протяжки и снижая шероховатость. Протяжка – это многолезвийный инструмент с последовательно расположенными зубьями. Отличительная особенность зубьев протяжки в том, что высота каждого последующего зуба увеличивается, обеспечивая снятие металла с обрабатываемой поверхности.

Протяжка с круглыми зубьями имеет следующие основные части: хвостовик 1, шейку 2, переходный конус, переднюю направляющую часть 3, режущую часть 4, калибрующую часть 5, заднюю направляющую часть 6, опорную цапфу и задний хвостовик 7 (рис. 2).

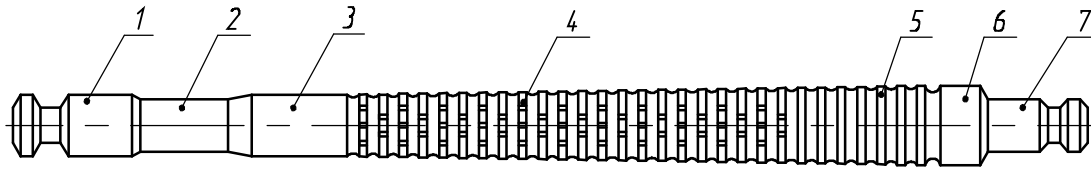


Рисунок 2 – Конструктивные элементы протяжки с круглыми зубьями.

Рассматривая процесс протягивания, можно установить ряд характерных особенностей, а именно: простоту рабочего движения инструмента; отсутствие подачи как особого движения; кратчайшую траекторию резания, равную длине обрабатываемой поверхности; короткое время соприкосновения каждого зуба с обрабатываемым металлом и т.д. Скорость рабочего движения протяжки (скорость резания) составляет обычно 2...12 м/мин; она меньше скорости резания при других видах обработки металлов, но вместе с тем значительно превосходит скорость относительного перемещения прочих инструментов, определяемую минутной подачей и оказывающую главное влияние на производительность процесса обработки.

Таким образом, высокая эффективность процесса протягивания объясняется большой длиной режущих кромок, одновременно участвующих в процессе резания; выполнением одним инструментом за один рабочий ход нескольких переходов и отсутствием большого числа обратных ходов, которые сопровождают процесс долбления шпоночных пазов, шлицевых и зубчатых, многогранных и фасонных отверстий [1, 2, 3].

При взаимодействии режущих зубьев протяжки с обрабатываемым материалом развивается сила резания, которую разделяют на составляющую, действующую вдоль направления движения протяжки, и составляющую, перпендикулярную направлению движения. Первая составляющая P_z - суммарная сила равномерно распределённых сил, расположенных на окружности отверстия. Суммарная сила P_z действует вдоль оси протяжки и складывается из удельных сил P_{zi} , а удельные силы P_{yi} взаимно уравновешиваются в действии на протяжку. Они определяют необходимую силу протягивания P , которую должно обеспечить применяемое оборудование, а также необходимую прочность конструктивных элементов протяжки (шейки, сечения сварного шва, сечения по впадине первого зуба). Вторая составляющая P_y , отжимающая протяжку от обрабатываемой заготовки, влияет на точность радиальных размеров детали после протягивания (рис. 3).

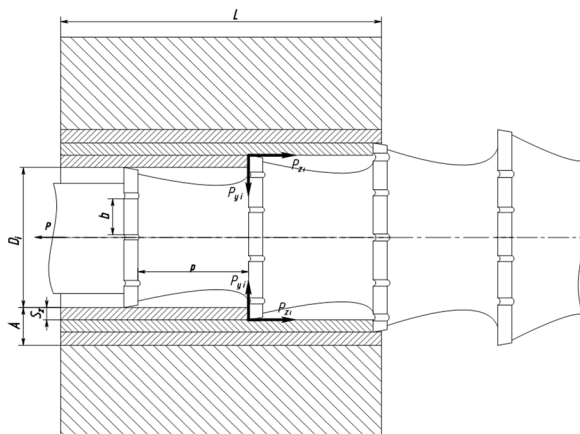


Рисунок 3 – Схема сил при протягивании

В процессе протягивания отверстий протяжками с круглыми зубьями сила резания скачкообразно изменяется вследствие переменного количества одновременно работающих зубьев, шаг которых обычно не кратен длине обрабатываемой детали. Через время t , равное отношению скорости резания и шага зубьев протяжки $t = \frac{V}{p}$, происходит умень-

шение числа одновременно работающих зубьев на один зуб, сила резания уменьшается. В результате постоянно меняется напряжённо-деформируемое состояние технологической системы и возникновение колебаний, которые уменьшают качество обработки (увеличивается шероховатость, отклонение от заданной геометрической формы отверстия) и снижается стойкость протяжки [4, 5].

Улучшение условий резания, качества протянутого отверстия, а также применение прогрессивных конструкций привели к разработке нового более эффективного металлорежущего инструмента – протяжки профильной схемы резания с винтовыми равноширокими зубьями (рис. 4, 5). Винтовые зубья протяжки – двух-, трёхзаходные для средних диаметров или большее число заходов - при больших диаметрах протяжки.

Протяжка имеет винтовые равноширокие зубья, что позволяет производить переточку протяжки по задней поверхности зубьев и улучшить качество обработки (увеличить точность отверстия и снизить шероховатость обрабатываемой поверхности) за счёт полного восстановления параметров качества изношенной протяжки после переточки до состояния новой протяжки. При этом данная протяжка не имеет недостатков, вызываемых малым задним углом ($\alpha = 2...3^\circ$) у протяжек с круглыми зубьями, перетачиваемыми по передней поверхности, и малым запасом на переточку, с сопутствующей трудностью восстановления параметров качества протяжки после переточки до требуемого уровня и неизбежным практическим снижением качества обработки: уменьшением точности обработки отверстий и увеличением шероховатости протягиваемых поверхностей отверстий в процессе эксплуатации и переточек протяжек. Задний угол протяжки должен быть в пределах 7° , т.е. в интервале задних углов для наружных протяжек.

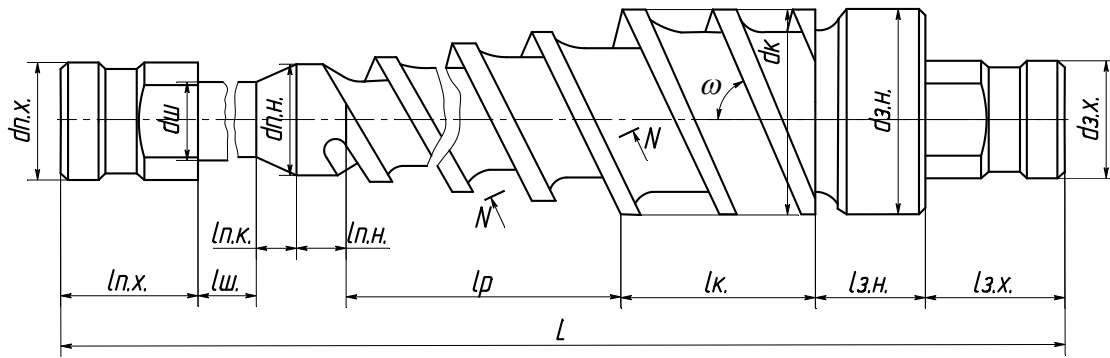


Рисунок 4 – Конструкция протяжки с винтовыми зубьями: $d_{нх}$ – диаметр переднего хвостовика; $d_{зх}$ – диаметр заднего хвостовика; $d_{нн}$ – диаметр передней направляющей; $d_{к}$ – диаметр калибрующей части; $d_{зн}$ – диаметр задней направляющей; $l_{нх}$ – длина переднего хвостовика; $l_{пк}$ – длина переходного конуса; l_p – длина режущей части; $l_к$ – длина калибрующей части; $l_{зн}$ – длина задней направляющей; L – длина протяжки

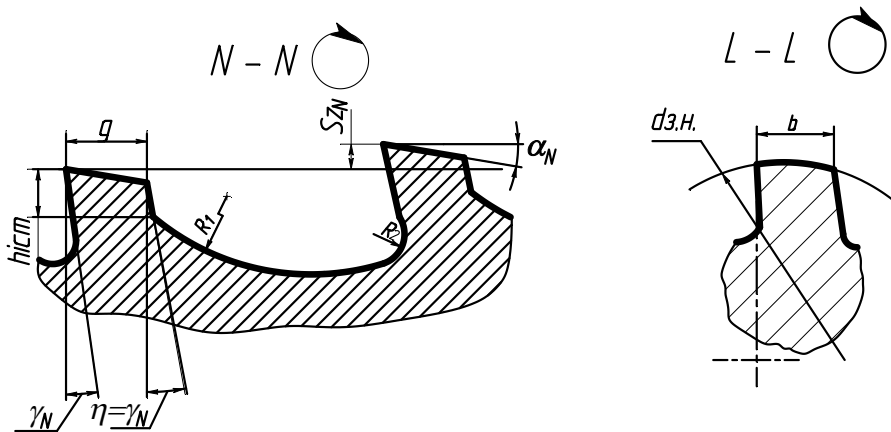


Рисунок 5 – Профиль стружечной канавки ($N - N$), равноширокий зуб ($L - L$): γ_N – передний угол в нормальном сечении к направлению винтового зуба; η – угол на затылке равноширокого зуба в пределах высоты стачивания при переточках $\eta = \gamma_N$; g – ширина задней поверхности зуба протяжки; h_{icm} – суммарная высота стачивания каждого зуба за весь период переточки протяжки; R_1, R_2 – радиусы закруглений стружечной канавки; S_{zN} – подача на зуб протяжки в нормальном сечении к винтовому зубу протяжки; b – ширина равноширокого зуба

Некоторое увеличение длины калибрующей части как запас на переточку оправдывается повышением качества переточенной протяжки до состояния нового инструмента. Переточка стандартных круглых протяжек осуществляется по передней поверхности, запас на переточку минимальный, иначе ширина зуба протяжки была бы значительно увеличена. Резкое ухудшение качества протяжки после переточки происходит за счёт неравномерного изнашивания зубьев по задней поверхности, следы износа на которых не всегда полностью устраняются.

При применении протяжек с винтовым зубом сила резания и количество одновременно работающих зубьев постоянны, тогда величина изменения силы резания практически равна

нулю. Винтовые зубья увеличивают плавность работы протяжки и повышают качество поверхности и обрабатываемого отверстия. Кроме того, плавность работы уменьшает износ и повышает стойкость протяжки. Улучшается качество протяжки, сопутствующее её эксплуатации, т.к. после каждой переточки восстанавливается состояние режущей части до состояния новой протяжки благодаря переточке по задней поверхности зубьев [6].

Протяжка с винтовым равношироким зубом позволяет повысить качество протягиваемых деталей и одновременно повысить стойкость между переточками самой протяжки и снизить затраты на её эксплуатацию и переточку.

Таким образом, применение протяжки профильной схемы резания с винтовыми равноширокими зубьями позволяет:

1. Производить переточку протяжки по задней поверхности зубьев и улучшить качество обработки за счёт полного восстановления параметров качества изношенной протяжки после переточки до состояния новой протяжки.

2. Обеспечить плавность работы протяжки и повысить качество поверхности обрабатываемого отверстия за счёт винтовых равношироких зубьев.

3. Обеспечить постоянное количество одновременно работающих зубьев (следовательно, величина изменения силы резания практически равна нулю).

Список литературы

1. Кирсанов С.В. Инструменты для обработки точных отверстий /С.В. Кирсанов, В.А. Гречишников, А.Г. Схиртладзе и др. - 2-е изд., исправл. и доп. - М.: Машиностроение, 2005. - 336 с.; ил.
2. Кацев П.Г. Обработка протягиванием. - М.: Машиностроение, 1986. - 272 с.
3. Скиженок В.Ф. Высокопроизводительное протягивание/ В.Ф. Скиженок, В.Д. Лемешонок, В.П. Цегельник. - М.: Машиностроение, 1990. - 240 с.
4. Дудак Н.С. Теоретические исследования вибраций при протягивании / Н.С. Дудак, М.А. Шерниязов, Б.М. Степаненко и др. // Наука и техника Казахстана. 2002. - № 3. - Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2002. - С. 158-166.
5. Дудак Н.С. К вопросу динамики обработки отверстий / Н.С. Дудак, Г.Т. Итыбаева, А.Ж. Касенов // II Междунар. науч.-практ. конф. «Научная индустрия европейского континента» // Publishing House "Education and Science" s.r.o. - Чехия, 2008. - С. 67-71.
6. Предварительный патент Республики Казахстан № 16167 на изобретение. Протяжка для обработки цилиндрических отверстий среднего и большого диаметров / Н.С. Дудак, М.А. Шерниязов; Опубл. 15.09.2005. - Бюл. № 9. - 10 с.: ил.

Получено 3.02.2014

УДК 621.95.02

Н.С. Дудак, Г.Т. Итыбаева, Ж.К. Мусина, А.Ж. Касенов, А.Ж. Таскарина
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар

Т.Б. Курмангалиев

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ СПИРАЛЬНЫМ СВЕРЛОМ «ЗИГЗАГ» БЕЗ ПОПЕРЕЧНОЙ КРОМКИ

Все разновидности существующих стандартных спиральных свёрл имеют сердцевину и поперечную кромку с особо неблагоприятными условиями смятия, выдавливания и скобления вместо резания из-за большого отрицательного (до минус 57°) переднего угла, большую долю (до 80 %) от осевой силы, приходящейся на поперечную кромку [1-4].

Способ сверления отверстий спиральным сверлом с измененным поперечным сечением, образованным прямыми линиями и отличающимся расположением режущих кромок в осевой или иной плоскости, отсутствием сердцевины и поперечной режущей кромки, с исполнением для правого и левого резания.

Сверло «Зигзаг» имеет специальный профиль в поперечном сечении в виде стилизованной буквы «Z» (рис. 1). Профиль сверла в поперечном сечении является ассиметричным, образован сочетанием широкого пера, передняя поверхность которого достигает оси сверла и исключает сердцевину, узкого пера, примерно равного по ширине четверти диаметра сверла, и косой перемычки между ними (рис. 2).

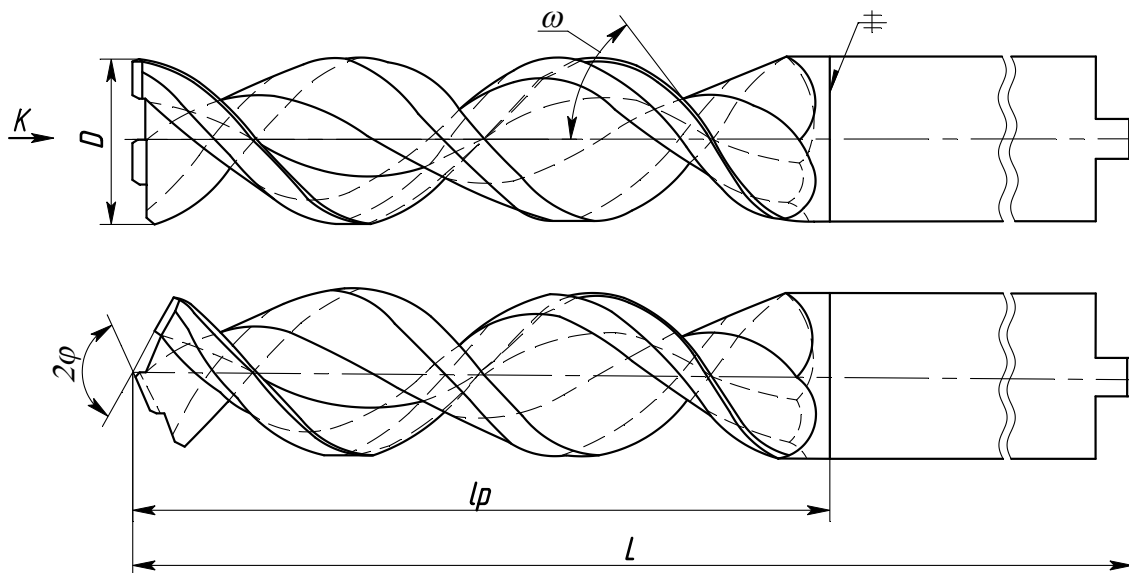


Рисунок 1 – Спиральное сверло «Зигзаг» без поперечной кромки

Такая форма поперечного сечения позволяет расположить режущие кромки пера в одной осевой плоскости, исключить поперечную кромку срезанием косой перемычки между перьями (получить канавку между лезвиями шириной и создать благоприятные условия резания с нормативными передним и задним углами в условиях отсутствия скобления, смятия и выдавливания материала поперечной кромкой с передним углом до минус 57°), повышенные износ, температуру и пониженную стойкость при использовании традиционных стандартных свёрл [5].

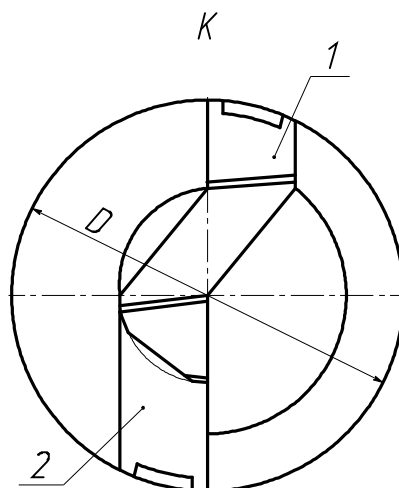


Рисунок 2 – Конструкция спирального сверла «Зигзаг» без поперечной кромки (вид справа):
1 – внешнее режущее лезвие на периферии сверла; 2 – внутреннее режущие лезвие у оси сверла; D – диаметр сверла

Узкое перо по всей ширине образует внешнее режущее лезвие сверла, широкое перо срезано на периферии (на участке $0,25D - \Delta$, где D – диаметр сверла, а Δ – величина перекрытия лезвий до полного среза материала в отверстии) и образовано внутреннее лезвие.

Работа лезвий разделена: внутреннее лезвие срезает материал на приосевом участке отверстия около $0,5D$ (половины диаметра отверстия), а внешнее лезвие срезает оставшуюся часть материала поперечного сечения отверстия.

Конструкция сверла «Зигзаг» позволяет сверлить отверстие в облегченных условиях резания двумя кромками двух режущих лезвий сверла с положительными передними углами и рациональными задними углами, соответствующими нормативам, в результате чего повышается стойкость сверла, уменьшается тепловыделение; по краям режущих лезвий выполняются подточки для уменьшения износа (на краях лезвий в месте пересечения главных режущих кромок вспомогательными); так как данное сверло не самоцентрируется при врезании, то в некоторых случаях требуется предварительное засверливание на глубину, равную половине диаметра сверла; для уменьшения увода сверла подточенное перо (для образования внутреннего режущего лезвия) на внешней стороне имеет направляющую поверхность; для обеспечения нормальных условий резания и исключения затирания по обработанной поверхности лезвие затачивается для создания боковых углов на внутренних кромках; при угле при вершине, меньшем 180° , или при наличии поднутрения $1^\circ - 3^\circ$ на торцовых режущих лезвиях при $2\varphi = 180^\circ$ сверло легче врезается в материал и самоцентрируется.

Сверло спиральное зигзаг бессердцевинное без поперечной кромки с торцевыми лезвиями и наклонными к оси лезвиями (с углом при вершине $2\varphi \leq 180^\circ$) значительно эффективнее спирального сверла с поперечной кромкой, так как обеспечивает более благоприятные условия резания, исключая отрицательный передний угол до минус 57° в зоне поперечной кромки и неблагоприятные условия резания. На обоих режущих лезвиях

обеспечиваются положительные передние углы. Уменьшаются износ и осевая сила, увеличивается скорость резания, стойкость сверла.

Таким образом, рабочая часть имеет винтовые стружечные канавки для отвода стружки, образованные сочетанием линейчатых винтовых поверхностей (в сечении, перпендикулярном оси, имеющих форму прямых линий или сочетание прямых линий и окружностей, поэтому форма поперечного сечения образована сочетанием прямых линий с параллельными передними и затылочными частями перьев или прямых линий и окружностей). Перья сверла разной ширины асимметрично расположены и соединены между собой косой перемычкой, образуя в поперечном сечении форму «Зигзаг».

Благодаря выбранным конструктивным параметрам поперечного сечения сверла устранены сердцевина и поперечная кромка. Профиль поперечного сечения образован сочетанием прямых линий и окружностей, образующих профиль-зигзаг как сочетание двух перьев разной ширины, соединённых косой перемычкой. Передние и затылочные поверхности перьев сверла и поверхности косой перемычки образованы в поперечном сечении прямыми линиями, на периферии – окружностями.

Главные режущие кромки расположены в одной осевой плоскости на одной диаметральной линии или наклонены к линии симметрии сверла в поперечном сечении на угол. Выполненный асимметричный профиль поперечного сечения не имеет сердцевины; поперечная кромка устранена выполненной разделительной канавкой между перьями. Разделительная канавка между перьями начинается от оси поперечного сечения сверла, проходящей через центр сечения; ширина разделительной канавки между перьями определяется приведенным расчётом минус величина перекрытий лезвий.

Итак, можно сделать следующие выводы:

1. Сверление отверстий спиральным сверлом без поперечной кромки и сердцевины создаёт благоприятные условия резания, вследствие чего повышается стойкость сверла и скорость резания при сверлении.

2. Обеспечивается снижение затрат на инструмент и снижение себестоимости обработки за счёт исключения поперечной кромки, сердцевины сверла и улучшения условий резания, а также из-за простоты его профиля и простоты плоской заточки.

Список литературы

1. Грановский Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
2. Сахаров Г.Н. Металлорежущие инструменты / Г.Н. Сахаров, О.В. Арбузов, Ю.Л. Воровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
3. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. – Киев: Вища шк., 1986. – 455 с.
4. Семенченко И.И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. – М.: Машиностроение, 1963. – 952 с.
5. Инновационный пат. Республики Казахстан № 20786. Спиральное сверло «Зигзаг» без поперечной кромки с наклоном главных режущих кромок и поднутрением / Н.С. Дудак; Опубл. 25.07.2008, Бюл. № 2. – 9 с.: ил.

Получено 30.01.2014

УДК 621.876.114

М.К. Кылышканов

Восточно-Казахстанский региональный университет, г. Усть-Каменогорск

Ж.Ш. Узденбаев

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

Ж.А. Берекебаева

Средняя школа № 44, г. Усть-Каменогорск

Ж.М. Калымов

Международный IT-университет, г. Алматы

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИМ ЛИФТОМ ФУНКЦИЕЙ БЛОКИРОВАНИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Наблюдаемая в последнее время тенденция к повышению этажности зданий в городах, а также к комфорту передвижения в лифтах, ведёт к усложнению систем управления процессом передвижения. Благодаря развитию современных микропроцессорных систем управления данные задачи успешно решаются.

В настоящее время в нашей стране стоит проблема замены устаревшего лифтового оборудования или модернизации существующего, замены редукторного электропривода с релейно-контакторной системой управления. Целесообразно использовать существующее шахтное оборудование и проводку, произвести замену лишь системы управления и приводных механизмов дверей и лебёдки лифта. Также следует обратить внимание на использование системы управления не только для модернизации существующего лифтового оборудования, но и для установки во вновь строящихся объектах.

Основные технические характеристики лифта регламентируются ГОСТ 22011-95 [1].

При управлении пассажирским лифтом система управления отслеживает и контролирует скорость передвижения кабины, положение кабины в шахте, загрузку кабины. В зависимости от поступивших вызовов и команд происходит управление оборудованием лифта по заданной программе. Основные управляющие воздействия вырабатывает микропроцессорная система управления. Логическим контроллером выдаются сигналы на закрытие-открытие дверей кабины, а также сигналы об аварийных ситуациях и сигнализации.

На рис. 1 приведен общий алгоритм функционирования системы управления пассажирским лифтом в режиме «Нормальная работа» [2]. При закрытых дверях с помощью программы, записанной в запоминающем устройстве, осуществляется опрос постов вызова и при появлении вызова проверяется условие нахождения кабины лифта на том же этаже вызова. Если это условие не выполняется, то осуществляется переход к программному блоку «Выбор направления», а при его выполнении формируется сигнал «Открыть дверь». После открытия дверей по завершении выдержки времени или при поступлении сигнала приказа обеспечивается закрывание дверей, решается задача выбора направления движения с учётом взаимного положения этажа назначения и этажа исходного положения кабины. В соответствии с результатами этого выбора включается привод для движения кабины в нужном направлении. В процессе движения кабины осуществляется проверка условия совпадения положения кабины с этажом назначения. При выполнении этого условия формируется сигнал замедления и остановки кабины, открываются двери, дальше управление осуществляется аналогично описанному.

Аналогичные программы формируются для обеспечения работы лифта в других режимах (с учётом особенностей работы в этих режимах). Управление в «Режиме ревизии» обычно выполняют без участия микропроцессорной системы для обеспечения большей

безопасности (алгоритм управления в этом режиме достаточно прост, а возможность управления кабины не должна зависеть от отказа микропроцессорной системы).

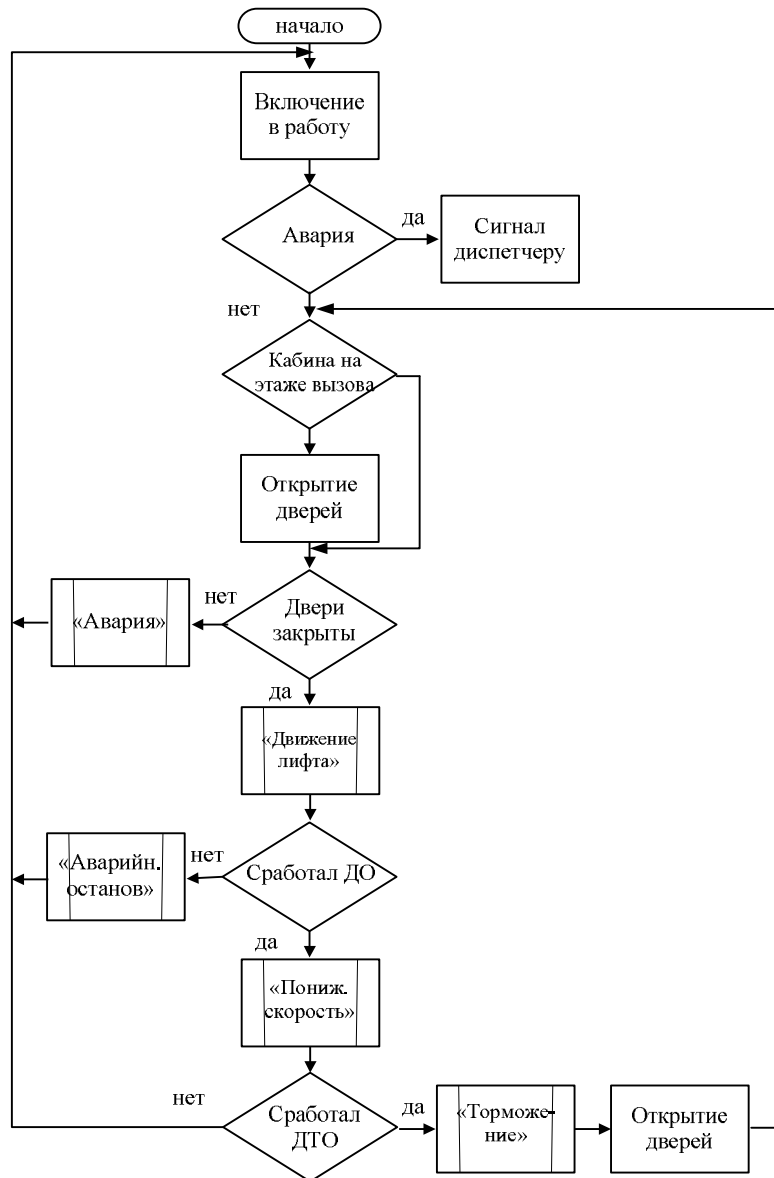


Рисунок 1 - Общий алгоритм функционирования системы управления пассажирским лифтом в режиме «Нормальная работа»

При использовании режима группового управления вводят дополнительные программные блоки, выполнение которых зависит от принятого при этом алгоритма управления.

В настоящее время большую часть парка городских пассажирских лифтов составляют лифты старой модификации, в которых нет функции защиты от несанкционированной эксплуатации. То есть человек, зашедший в такой лифт, может переместить его по вызову с другого этажа без использования карты оплаты. В связи с этим предлагается установка датчика веса на существующем полу лифта с «прокладкой» перемещающегося дополни-

тельного пола с выводом сигнала на контроллер. При этом, при наличии сигнала с датчика веса, блокируется функция вызова лифта с других этажей, т.е. команда на перемещение может выполняться только при условии оплаты с карточки и только из внутреннего пульта лифта. «Программа движения лифта» (рис.1) расширяется процедурой проверки «Пуст ли лифт?» при поступлении вызова пустого лифта с другого этажа.

Описание алгоритма коррекции схемы управления лифтом при неоплаченном вызове непустой кабины приводится ниже:

1. Начало.
2. Сигнал вызова лифта.
3. Опрос датчика веса.
4. Проверка: «Пуста ли кабина?» Если «нет» - на шаг 5 , иначе - на шаг 6.
5. Подпрограмма «Оплата».
6. «Основная программа движения лифта».
7. Конец.

Схема алгоритма коррекции схемы управления пассажирским лифтом при неоплаченном вызове непустой кабины приведена на рис. 2.

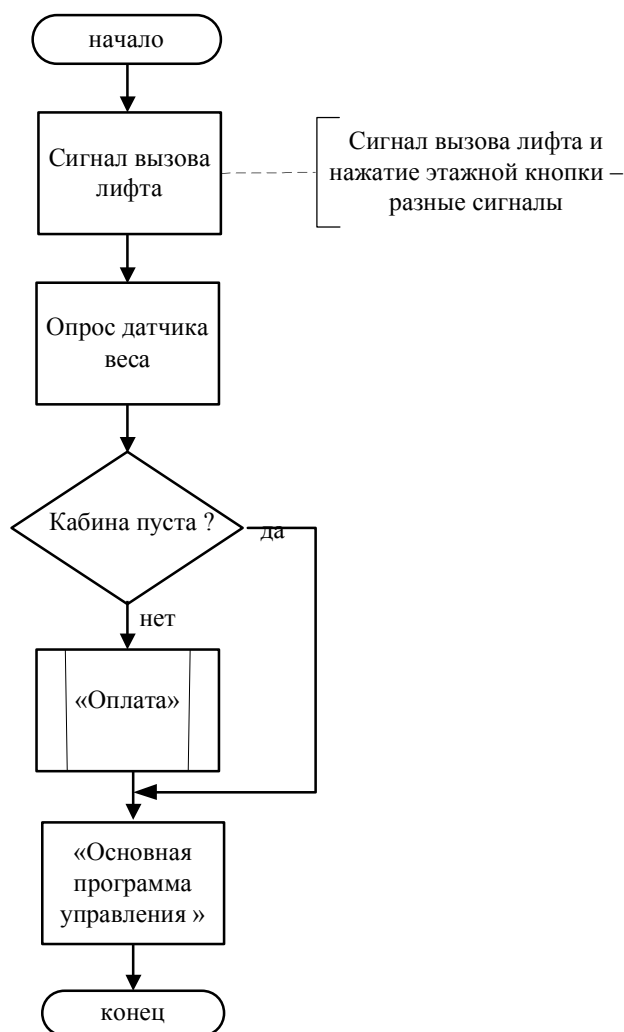


Рисунок 2 - Схема алгоритма коррекции схемы управления пассажирским лифтом при неоплаченном вызове непустой кабины

В представленной работе предложено внесение в систему управления пассажирского лифта дополнительной функции защиты от несанкционированной эксплуатации пассажирского лифта при установлении карточной системы оплаты. Так как пассажирские лифты относятся к машинам с высоким потреблением электрической энергии, то данный проект позволит обеспечить энергосбережение за счет предотвращения «кражи» потребителями этой услуги.

Список литературы

1. ГОСТ 22011-95. «Лифты пассажирские и грузовые. Технические условия».
2. Автоматическая система управления процессом передвижения пассажирского лифта: Курсовой проект по дисциплине «Комплексная автоматизация технологических процессов», 2009. - Электронные ресурсы <http://www.kazedu.kz/referat/94627>.

Получено 16.01.2014

УДК 681.2 (075.8): 681.5(075.8): 006.91(075.8)

А.П. Парамзин

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

**ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РАЗВЯЗКА В ЦЕПЯХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
ДВУХКАНАЛЬНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

В статье рассматривается способ организации электропитания в системе, у которой выходной величиной является высоковольтный электрический сигнал. Объектом служит двухканальная система автоматического управления с общей отрицательной обратной связью по мгновенному значению выходной величины. Система в своём составе имеет высоковольтную и низковольтную части, выделенные пунктирными прямоугольниками (рис. 1). Стыкочным узлом между высоковольтной и низковольтной частями служит сумматор, в структуре которого и должны находиться элементы развязки.

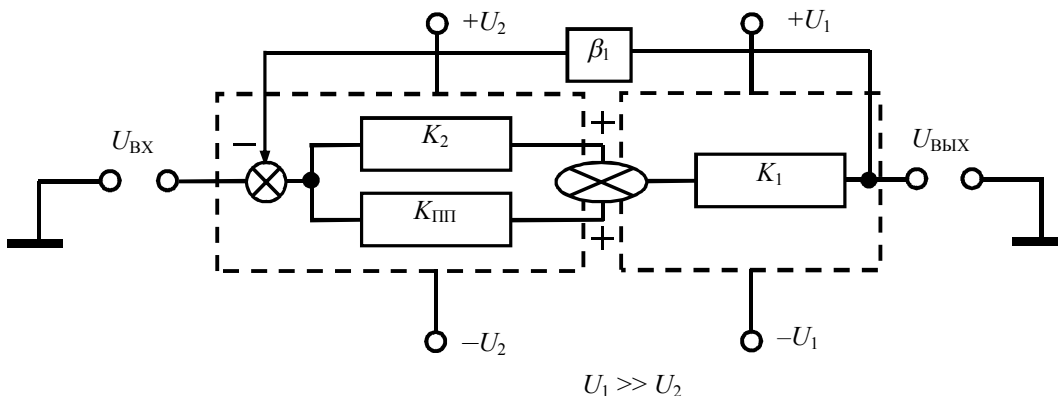


Рисунок 1 – Функциональная схема двухканальной системы

Необходимость подобного рода развязки диктуется схемотехническими особенностями, требованиями помехозащищённости по цепям электропитания, электробезопасности и энергосбережения. Высоковольтная часть представлена основным каналом K_1 , низковольтная часть – дополнительным каналом K_2 и прямой параллельной единичной передачей $K_{пп}$ [1]. Технология проектирования такой системы подробно изложена в общей теории систем аддитивной коррекции мультипликативной погрешности по входу (далее – общая теория), описана в упомянутой работе и в других работах автора. Каналы системы имеют передаточные функции (1):

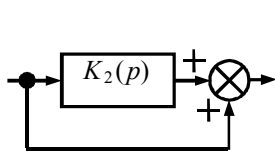
$$K_1(p) = K_{10}/B_1(p); K_2(p) = K_{20}/B_2(p), \quad (1)$$

где $B_1(p)$ и $B_2(p)$ – полиномы оператора Лапласа; K_{10} и K_{20} – статические коэффициенты передачи.

С целью реализации максимальных потенциальных возможностей рассматриваемой системы, согласно общей теории, каждый канал должен иметь передаточную функцию апериодического звена второго порядка (2):

$$\begin{aligned} K_{10}/B_1(p) &= K_{10}/[(\tau p+1)(\tau_3 p+1)] = K_{10}/[(\tau p+1)(n_3 \tau p+1)]; \\ K_{20}/B_2(p) &= K_{20}/[(\tau_1 p+1)(\tau_2 p+1)] = K_{20}/[(n_1 \tau p+1)(n_2 \tau p+1)]. \end{aligned} \quad (2)$$

Высокие показатели качества рассматриваемой системы обеспечивают дополнительный канал и прямая параллельная единичная передача со структурой рис. 2, которая, благодаря своим свойствам, получила название активного корректора.



$$\begin{aligned} |K_2(j\omega) + 1| &= \frac{\sqrt{(K_{20} + 1 - n_1 n_2 \tau^2 \omega^2)^2 + (n_1 + n_2)^2 \tau^2 \omega^2}}{\sqrt{(1 + n_1^2 \tau^2 \omega^2)(1 + n_2^2 \tau^2 \omega^2)}}; \\ \text{Arg}[K_2(j\omega) + 1] &= \arctg \frac{(n_1 + n_2)\tau\omega}{K_{20} + 1 - n_1 n_2 \tau^2 \omega^2} - \arctg(n_1 \tau\omega) - \arctg(n_2 \tau\omega). \end{aligned}$$

Рисунок 2 – Структурная схема активного корректора и его математическая модель в частотной области

На рис. 2 показан идеальный вариант структуры активного корректора. Графическая интерпретация его математической модели в виде логарифмической амплитудной частотной характеристики $[A(\omega) = 20 \lg |K_2(j\omega) + 1|]$ и фазовой частотной характеристики $[\varphi(\omega) = \arg(K_2(j\omega) + 1)]$ для набора частных значений параметров имеет вид сплошных линий на рис. 3, где: $n_1 = 1$, $n_2 = 1$, $\tau = 0,159 \text{ с}$ ($f_0 = 1 \text{ Гц}$, $\omega_0 = 2\pi f_0 = 6,28 \text{ рад/с}$), $K_{20} = 100$.

Точечные линии на рис. 3 представляют соответствующие частотные характеристики только дополнительного канала. Постоянная времени ($\tau = 0,159 \text{ с}$) получена при условии, что в качестве верхней границы диапазона рабочих частот взято значение $f_0 = 1 \text{ Гц}$ ($\omega_0 = 6,28 \text{ рад/с}$), что вполне приемлемо для моделирования.

В общей теории подчёркнуто, что активный корректор может являться частью проектируемой системы с высоким порядком передаточной функции или же встраивается в неё дополнительно для увеличения глубины отрицательной обратной связи. Корректирующие свойства активного корректора обусловлены его способностью компенсировать фазовый сдвиг в узком диапазоне частот. Показанные на рис. 2 характеристики отражают идеальные свойства активного корректора.

Целью статьи является определение влияния дополнительных схемотехнических решений, в частности вводимых элементов потенциальной развязки, на свойства активного корректора.

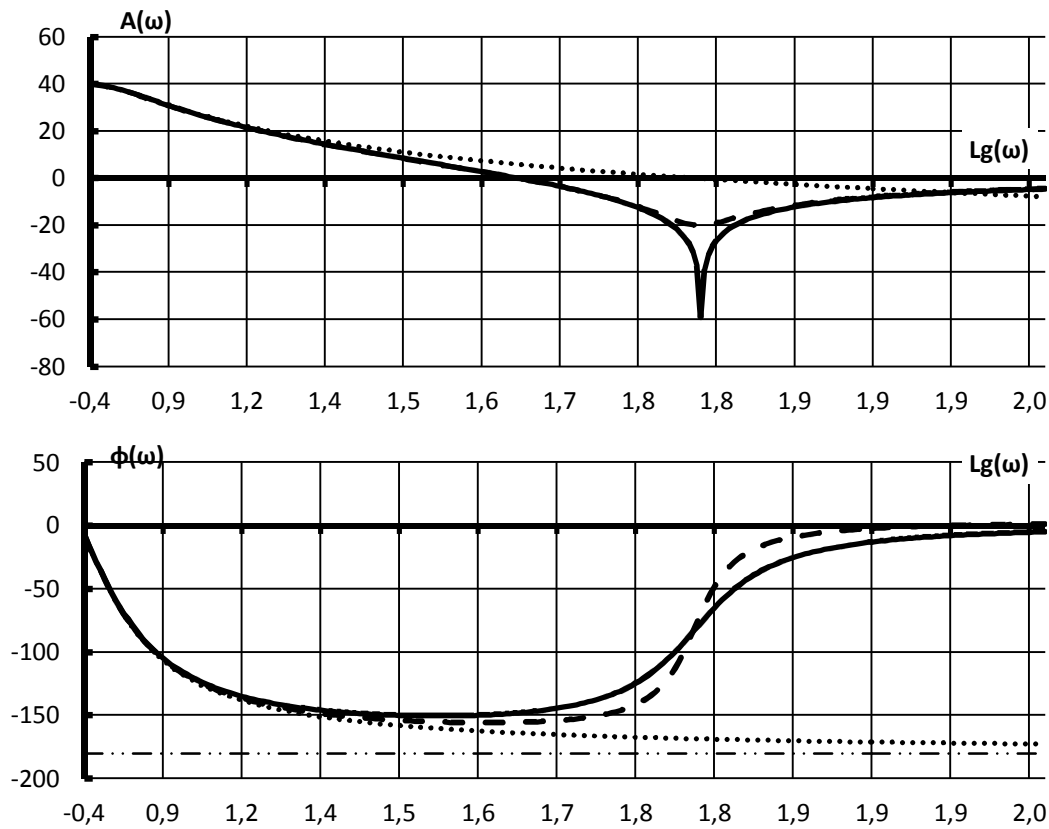


Рисунок 3 – Логарифмическая амплитудная и фазовая частотные характеристики активного корректора

Автором статьи [2] (смотри также [3]) был предложен вариант использования в дополнительном канале в качестве элемента потенциальной развязки диодную оптопару (рис. 4,а), в которой светодиод принадлежит дополнительному каналу, а фотодиод – основному каналу. Здесь же предлагается вместо идеальной прямой параллельной единичной передачи применить дифференцирующую цепочку RC (рис. 4,б) с передаточной функцией

$$K_{\text{ПП}}(p) = \tau_{\text{ПП}}p / (1 + \tau_{\text{ПП}}p) = n_{\text{ПП}}\tau p / (1 + n_{\text{ПП}}\tau p), \text{ где } \tau_{\text{ПП}} = RC. \quad (3)$$

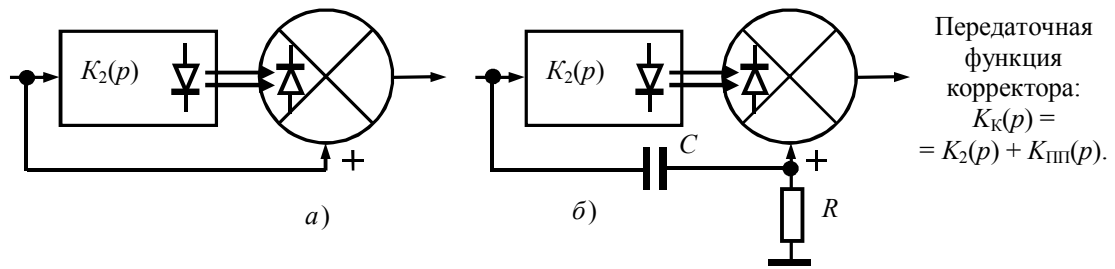


Рисунок 4 – Активный корректор с дифференцирующей цепочкой

С учётом дополнительных элементов потенциальной развязки передаточная функция активного корректора будет иметь вид:

$$K_2(p) + K_{III}(p) = \frac{K_{20}}{(1 + n_1 \tau p)(1 + n_2 \tau p)} + \frac{n_{III} \tau p}{(1 + n_{III} \tau p)} = \frac{K_{20}(1 + n_{III} \tau p) + n_{III} \tau p(1 + n_1 \tau p)(1 + n_2 \tau p)}{(1 + n_1 \tau p)(1 + n_2 \tau p)(1 + n_{III} \tau p)}. \quad (4)$$

На рис. 3 пунктирными линиями показаны логарифмическая амплитудная частотная характеристика $[A(\omega) = 20 \lg |K_K(j\omega)|]$ и фазовая частотная характеристика $[\varphi(\omega) = \arg(K_K(j\omega))]$ для набора частных значений параметров: $n_1 = 1$, $n_2 = 1$, $n_{III} = 1$, $\tau = 0,159$ с ($f_0 = 1$ Гц, $\omega_0 = 2\pi f_0 = 6,28$ рад/с), $K_{20} = 100$. Как видно, в данном случае корректирующие свойства активного корректора не хуже по сравнению со свойствами идеального корректора.

Из (4) следует, что порядок полиномов числителя и знаменателя передаточной функции равен трём, поэтому необходимо провести дополнительный анализ фазовой частотной характеристики, которая имеет вид:

$$\text{Arg}[(K_K(j\omega))] = \text{arctg} \frac{(K_{20} + 1 - n_1 n_2 \tau^2 \omega^2) n_{III} \tau \omega}{K_{20} - n_{III} (n_1 + n_2) \tau^2 \omega^2} - \text{arctg}(n_1 \tau \omega) - \text{arctg}(n_2 \tau \omega) - \text{arctg}(n_{III} \tau \omega). \quad (5)$$

На рис. 5 приведены две фазовые частотные характеристики, построенные по выражению (5) для двух значений постоянной времени прямой параллельной передачи: $n_{III1} = 1$ (сплошная линия) и $n_{III2} = 0,1$ (пунктирная линия).

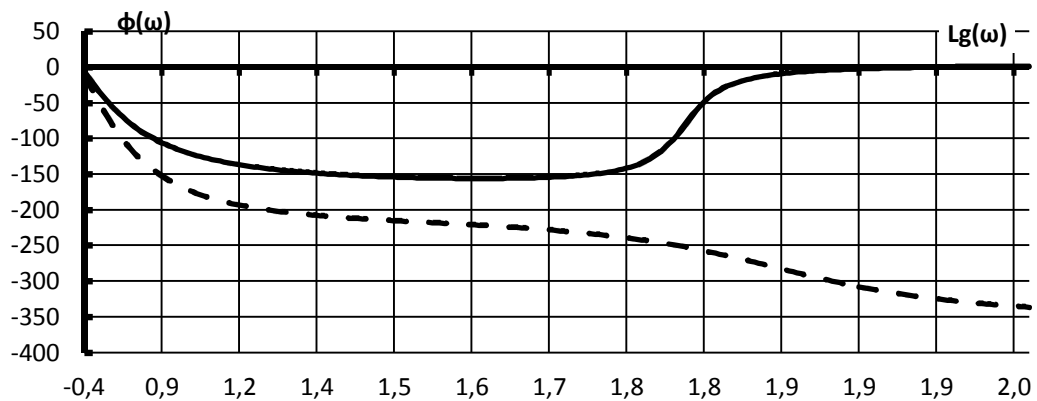


Рисунок 5 – Фазовые частотные характеристики активного корректора с дифференцирующей цепочкой в прямой параллельной передаче

Форма пунктирной характеристики свидетельствует о том, что при определённых условиях активный корректор приобретает неминимально-фазовые свойства. Выявить эти условия можно, проанализировав фазовые переходы аргумента первого слагаемого (5). Обозначим знаменатель и числитель этого аргумента как (6) и на рис. 6 покажем характер зависимости этих функций от частоты (показан частный случай, когда корректор обладает минимально-фазовыми свойствами).

$$R(\omega) = K_{20} - n_{\text{ПП}}(n_1 + n_2)\tau^2\omega^2; \quad I(\omega) = (K_{20} + 1 - n_1n_2\tau^2\omega^2)n_{\text{ПП}}\tau^2\omega^2. \quad (6)$$

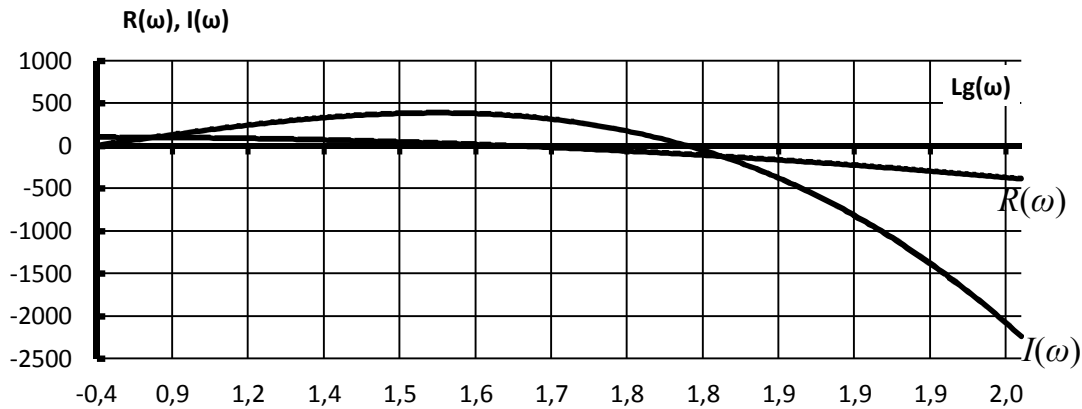


Рисунок 6 – Частотные зависимости функций $R(\omega)$ и $I(\omega)$

Изменение фазовых свойств корректора (из состояния минимальной фазы в состояние неминимальной фазы) произойдёт при условии, когда точки перехода функций $R(\omega)$ и $I(\omega)$ через нуль поменяются местами. Отсюда вытекает, что границей между минимальной и неминимальной фазами является совместное решение системы двух уравнений, показанное в виде (7).

$$\begin{cases} R = K_{20} - n_{\text{ПП}}(n_1 + n_2)\tau^2\omega^2 = 0 \Rightarrow \omega^2 = K_{20}/[n_{\text{ПП}}(n_1 + n_2)\tau^2]; \\ I = (K_{20} + 1 - n_1n_2\tau^2\omega^2)n_{\text{ПП}}\tau\omega = 0 \Rightarrow n_{\text{ПП}} > n_1n_2K_{20}/[(n_1 + n_2)(K_{20} + 1)]. \end{cases} \quad (7)$$

Полученное соотношение $n_{\text{ПП}} > n_1n_2K_{20}/[(n_1 + n_2)(K_{20} + 1)]$ и является условием, которое устанавливает ограничения на значение постоянной времени прямой параллельной передачи $K_{\text{ПП}}(p)$. Минимизируя значение $n_{\text{ПП}}$, можно добиться уменьшения габаритов развязывающего конденсатора (при условии, если такое решение актуально).

В заключение для оптимально спроектированной системы [1] с дифференцирующей цепочкой в прямой параллельной передаче (рис. 7) покажем форму частотных характеристик.

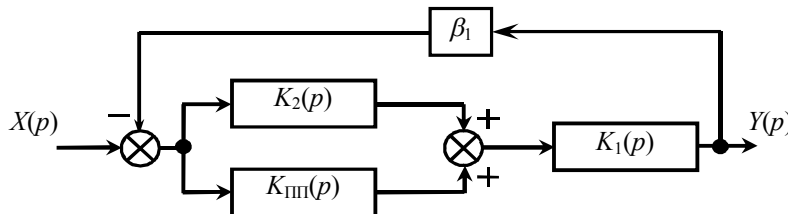


Рисунок 7 – Структурная схема проектируемой двухканальной системы:

$X(p)$ – входное воздействие, $Y(p)$ – выходная переменная

Передаточная функция системы рис. 7 имеет вид

$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{[K_2(p) + K_{\text{ПП}}(p)]K_1(p)}{1 + \beta_1 K_1(p)[K_2(p) + K_{\text{ПП}}(p)]}. \quad (8)$$

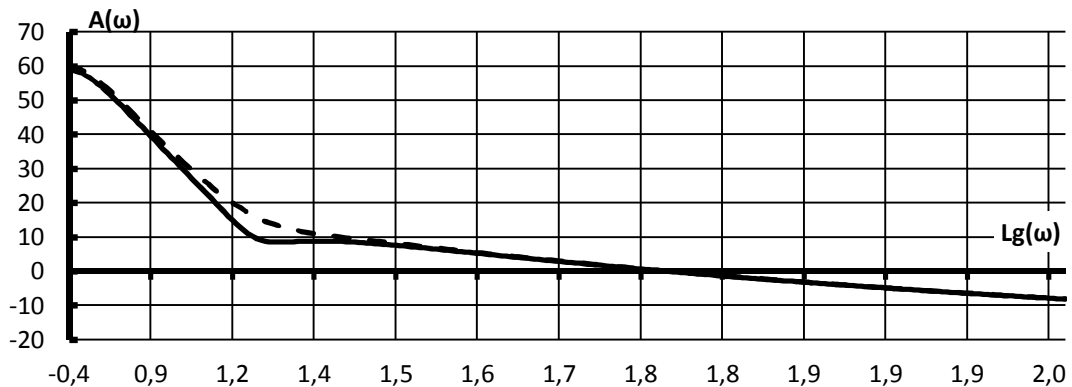
После подстановки в (8) передаточных функций каналов (2), прямой параллельной передачи (3) и перехода в частотную область получим выражения амплитудной ($|K_{\text{РАЗ}}(j\omega)|$) и фазовой ($\text{Arg}K_{\text{РАЗ}}(j\omega)$) частотных характеристик разомкнутой системы:

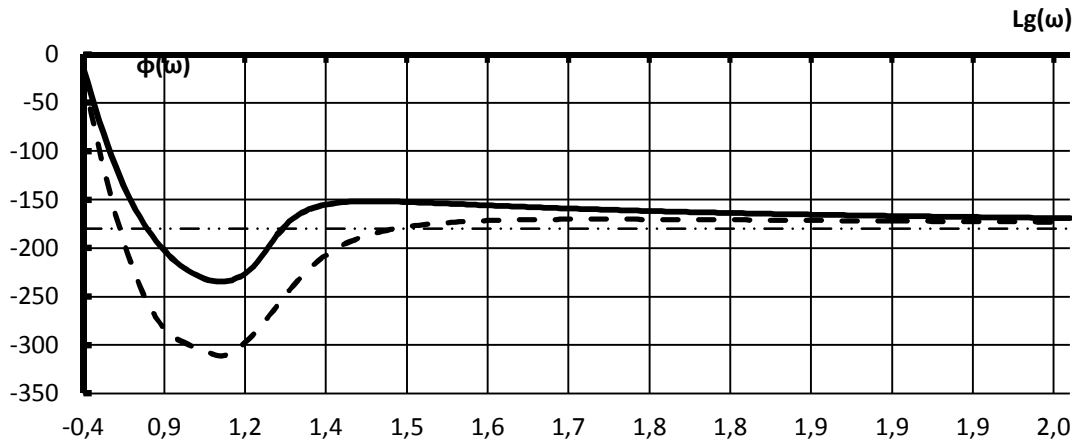
$$|K_{\text{РАЗ}}(j\omega)| = \frac{\beta_1 K_{10} \sqrt{[K_{20} - n_{\text{ПП}}(n_1 + n_2)\tau^2\omega^2]^2 + [K_{20} + 1 - n_1 n_2 \tau^2 \omega^2] n_{\text{ПП}}^2 \tau^2 \omega^2}}{\sqrt{(1 + n_1^2 \tau^2 \omega^2)(1 + n_2^2 \tau^2 \omega^2)(1 + n_3^2 \tau^2 \omega^2)(1 + \tau^2 \omega^2)(1 + n_{\text{ПП}}^2 \tau^2 \omega^2)}},$$

$$\text{Arg}K_{\text{РАЗ}}(j\omega) = \text{arctg} \frac{(K_{20} + 1 - n_1 n_2 \tau^2 \omega^2) n_{\text{ПП}} \tau \omega}{K_{20} - n_{\text{ПП}}(n_1 + n_2)\tau^2 \omega^2} - \text{arctg}(n_1 \tau \omega) - \text{arctg}(n_2 \tau \omega) - \quad (9)$$

$$- \text{arctg}(n_{\text{ПП}} \tau \omega) - \text{arctg}(n_3 \tau \omega) - \text{arctg}(n \tau \omega).$$

Графическая интерпретация частотных характеристик (9) представлена на рис. 8 (сплошные линии), откуда следует, что качество системы в диапазоне рабочих частот определяется глубиной обратной связи, равной $B_1 K_{10} \cdot K_{20} = 100 \cdot 10 = 1000$. Система обладает запасами устойчивости по модулю примерно 9 дБ и по фазе примерно 18 градусов. Здесь же, для сравнения, помещены соответствующие частотные характеристики разомкнутой системы с теми же параметрами передаточных функций каналов, но с идеальной прямой параллельной передачей $K_{\text{ПП}}(p) = 1$ (пунктирные линии). В данном случае запас устойчивости по модулю равен примерно 9 дБ, запас устойчивости по фазе равен примерно 10 градусов, что несколько уступает аналогичным показателям системы с неидеальным корректором.



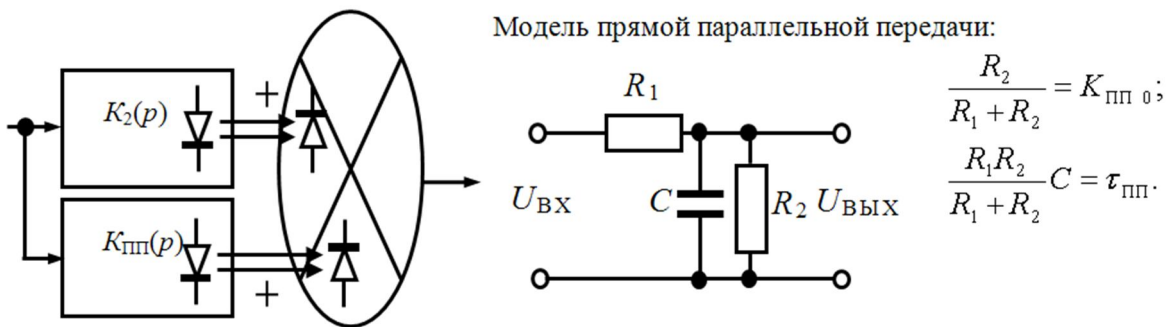


$B_1 K_{10} = 100; K_{20} = 10; f_0 = 1 \text{ Гц}; \tau = 0,159 \text{ с}; n_1 = n_2 = n_3 = n_{\text{ПП}} = 1.$

Рисунок 8 – Частотные характеристики разомкнутой системы с дифференцирующей цепочкой в прямой параллельной передаче и с идеальной прямой параллельной передачей

В упомянутой статье [2] для потенциальной развязки прямая параллельная передача выполнена также на основе оптопары, как показано на рис. 9. В данном случае активный корректор имеет передаточную функцию:

$$K_K(p) = K_2(p) + K_{\text{ПП}}(p) = \frac{(K_{20} + K_{\text{ПП}0}) + [K_{20}n_{\text{ПП}}\tau + K_{\text{ПП}0}(n_1 + n_2)\tau]p + K_{\text{ПП}0}n_1n_2\tau^2p^2}{(1 + n_1\tau p)(1 + n_2\tau p)(1 + n_{\text{ПП}}\tau p)}. \quad (10)$$



Передаточная функция прямой параллельной передачи: $K_{\text{ПП}}(p) = \frac{K_{\text{ПП}0}}{1 + \tau_{\text{ПП}}p}$.

Рисунок 9 – Активный корректор с оптопарой в цепи прямой параллельной передачи

Математическая модель амплитудной и фазовой частотных характеристик, полученная из передаточной функции (10) имеет вид:

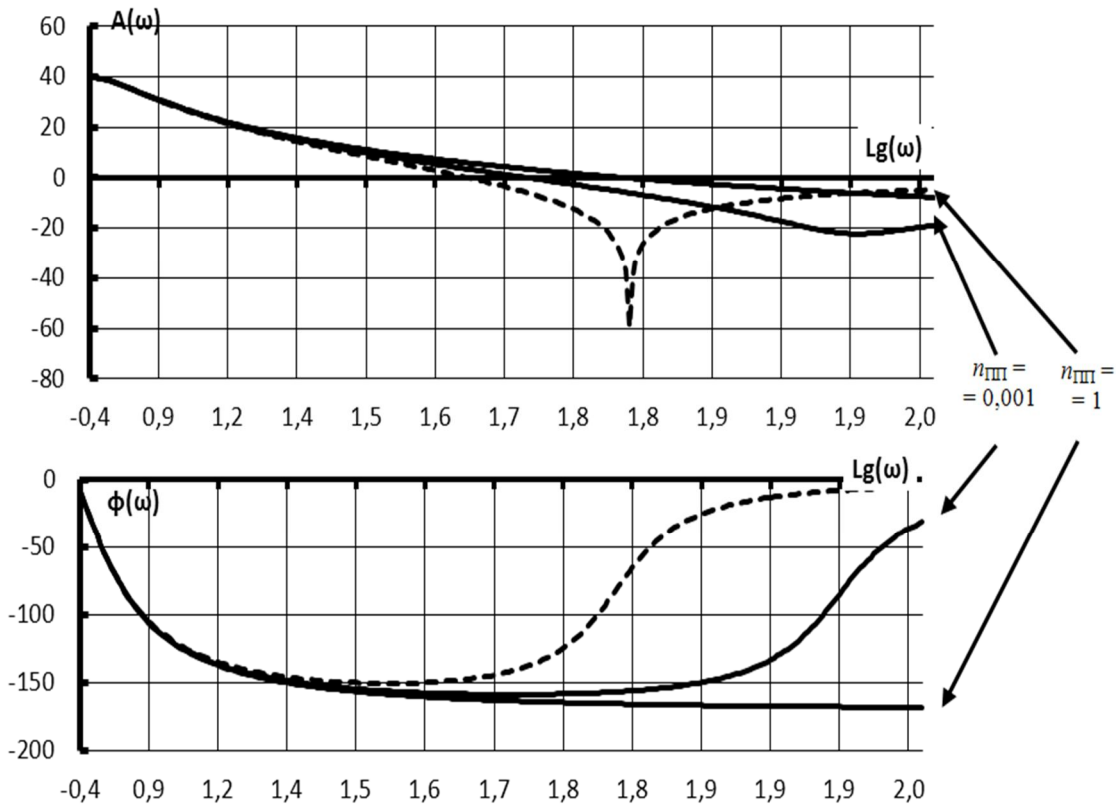
$$|K_K(j\omega)| = \frac{\sqrt{[K_{20} + K_{\text{ПП}0} - K_{\text{ПП}0}n_1n_2\tau^2\omega^2]^2 + [K_{20}n_{\text{ПП}}\tau + K_{\text{ПП}0}(n_1 + n_2)\tau]^2\omega^2}}{\sqrt{(1 + n_1^2\tau^2\omega^2)(1 + n_2^2\tau^2\omega^2)(1 + n_{\text{ПП}}^2\tau^2\omega^2)}};$$

$$\begin{aligned} \text{Arg}K_K(j\omega) = & \arctg \frac{[K_{20}n_{\text{ПП}}\tau + K_{\text{ПП}0}(n_1 + n_2)\tau]\omega}{K_{20} + K_{\text{ПП}0} - K_{\text{ПП}0}n_1n_2\tau^2\omega^2} - \\ & - \arctg(n_1\tau\omega) - \arctg(n_2\tau\omega) - \arctg(n_{\text{ПП}}\tau\omega). \end{aligned} \quad (11)$$

Графическая интерпретация частотных характеристик (11) при $R_1 = R_2$ ($K_{\text{ПП}0} = 0,5$) представлена на рис. 10 для двух существенно различных значений постоянной времени $\tau_{\text{ПП}}$ (сплошные линии).

Для сравнения на рис. 10 пунктирные линии представляют соответствующие характеристики активного корректора с идеальной прямой параллельной передачей $K_{\text{ПП}}(p) = 1$.

На рис. 11 дана сравнительная оценка частотных характеристик рассматриваемой системы с оптопарой в цепи прямой параллельной передачи и с идеальной прямой параллельной передачей при условии идентичности параметров передаточных функций каналов. У системы с элементами потенциальной развязки запасы устойчивости составляют по модулю примерно 5,5 дБ и по фазе примерно 10,5 градусов, а у системы с идеальным корректором запас устойчивости по модулю равен примерно 9 дБ и по фазе – примерно 10 градусов.



$$K_{20} = 100; f_0 = 1 \text{ Гц}; \tau = 0,159 \text{ с}; n_1 = n_2 = 1.$$

Рисунок 10 – Частотные характеристики активного корректора с оптопарой в цепи прямой параллельной передачи

Сравнивая корректирующие свойства активного корректора с двумя рассмотренными схемами потенциальной развязки (рис. 4 и 9), можно отметить превосходство схемы с дифференцирующей цепью и рекомендовать её для практического применения. В то же время, если есть возможность применить оптопару со сверхвысокочастотным фотодиодом, то такое решение наряду с идеальной потенциальной развязкой обеспечивает хорошую защиту от внутренних помех – это вытекает из свойств дифференцирующих и интегрирующих цепей. Качественная схемотехника также оказывает существенное влияние на свойства активного корректора.

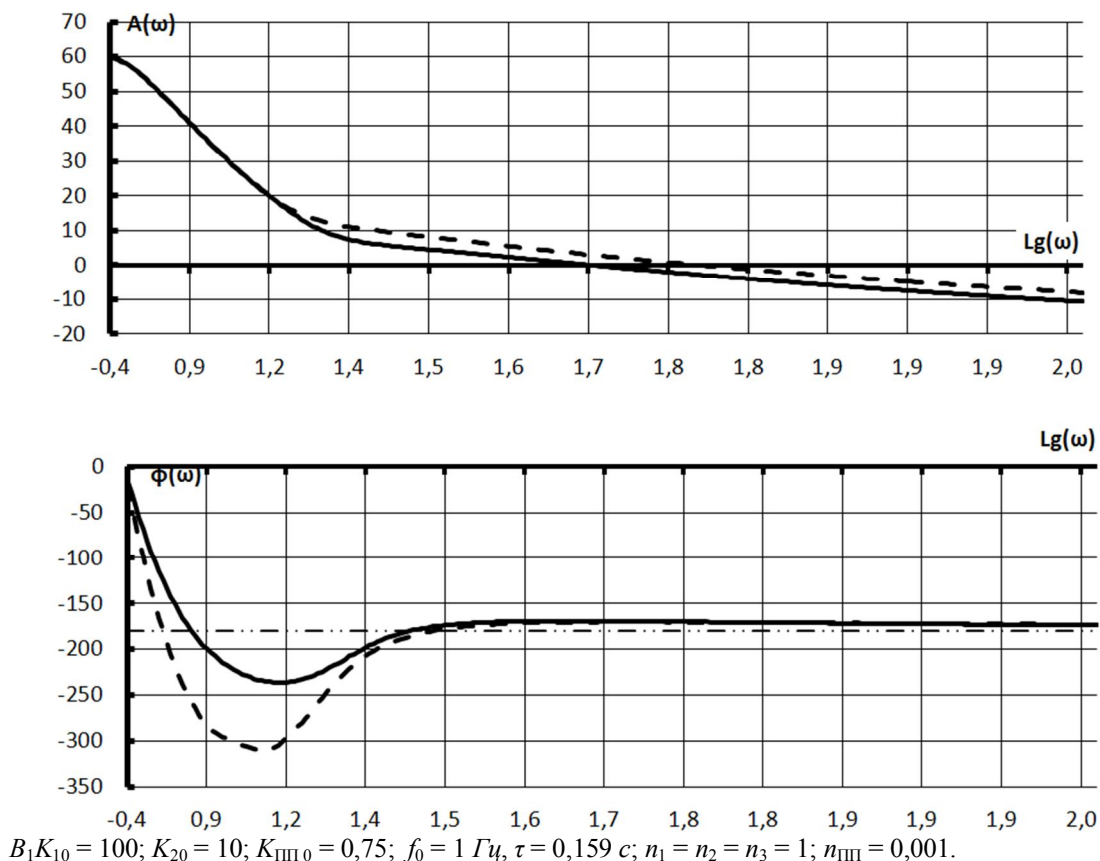


Рисунок 11 – Частотные характеристики разомкнутой системы с оптопарой в цепи прямой параллельной передачи и с идеальной прямой параллельной передачей

Подведем итог: в статье рассмотрены два варианта технической реализации потенциальной развязки в цепях электропитания двухканальной автоматической системы с общей отрицательной обратной связью. Сформулированы условия, устанавливающие требования к элементам потенциальной развязки с учётом сохранения потенциальных возможностей системы, а также дана сравнительная оценка характеристик рассмотренных вариантов с характеристиками идеального решения.

Список литературы

1. Парамзин А.П. Оптимизация частотных характеристик в замкнутых системах аддитивной коррекции погрешностей по входу /А.П. Парамзин, В.М. Сергеев // Проблемы технического прогресса и экологии в строительстве и других отраслях экономики Казахстана: Сб. науч. тр. – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 1998.
2. Парамзин А.П. Применение оптического модулятора для управления переходными процессами в двухканальной системе // Вестник ВКГТУ. – 2013. – № 1. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2013.
3. Носов Ю.Р. Оptrоны и их применение / Ю.Р. Носов, А.С. Сидоров. – М.: Радио и связь, 1981.

Получено 5.02.0214

УДК:621.43

Д.А. Порубов, Б.А. Сулейменов

Казахский национальный технический университет, г. Алматы

М.Г. Шадрин

ТОО Казцинкмаш, г. Усть-Каменогорск

Г.К. Шадрин, Л.А. Проходова

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

По прогнозам Агентства Республики Казахстан численность парка автомобильного транспорта увеличится в 2015 году до 3400 тыс. единиц. Средний возраст парка остается значительным и составляет порядка 10 лет, в том числе 9 % парка эксплуатируется свыше 20 лет, когда автомобили полностью изношены и подлежат списанию. Такая эксплуатация приводит к непроизводительному расходу топлива и увеличению выброса в атмосферу загрязняющих веществ [1].

В связи с этим в настоящее время важнейшей задачей диагностирования автомобильного транспорта является снижение расхода топлива и повышение его экологической безопасности. Постановлением Правительства Республики Казахстан от 29 декабря 2007 года, № 1372 утвержден Технический регламент о требованиях к выбросам вредных (загрязняющих) веществ автотранспортных средств, выпускаемых в обращение на территории Республики Казахстан. Согласно Техническому регламенту [2] на территории Республики Казахстан введены в действие следующие сроки по нормативам удельных выбросов автотранспортных средств:

- 1) экологический класс – 2, с 15 июля 2009 года;
- 2) экологический класс – 3, с 1 января 2013 года;
- 3) экологический класс – 4, в отношении:

– ввозимых на территорию Республики Казахстан автотранспортных средств с 1 июля 2013 года;

– производимых в Республике Казахстан автотранспортных средств с 1 января 2014 года.

Для соответствия Техническому регламенту необходимо поддерживать автомобиль в надлежащем техническом состоянии. В связи с тем, что автомобиль представляет собой сложную систему, оценивать его техническое состояние субъективными методами в большинстве случаев не представляется возможным, что делает необходимым привлечение для этой цели специализированных средств диагностики, вычислительной техники и последних достижений в электронике и измерительной техники.

Применение диагностирующих средств, с одной стороны, связано с затратами на их приобретение, а с другой - позволяет вовремя определить неисправность и тем самым провести своевременный ремонт, что снизит его затраты. Кроме этого, применение средств диагностирования позволяет уменьшить влияние человеческого фактора на выявление неисправности, например, неправильное определение, вследствие низкой квалификации, может привести к дополнительным затратам на проведение монтажно-демонтажных работ и ремонта.

Вследствие приведенного выше анализа была поставлена цель: повысить качество

проведения диагностирования. Повышение качества диагностирования, с одной стороны, связано со снижением влияния человеческого фактора. С другой стороны, осуществляется повышением точности и надежности средств диагностики. Решением задачи для достижения поставленной цели является разработка прибора для проведения автоматизированного процесса диагностирования топливной аппаратуры с применением современных оптоэлектронных средств.

Любая система диагностирования автомобиля включает следующие взаимосвязанные элементы: объект диагностирования, диагностические параметры, нормативные показатели, средства, процедуру диагностирования и человека [3]. Кроме того, для организации диагностирования необходимо установить режимы, технологию и место диагностирования в общем комплексе обслуживания и ремонта.

В статье рассматривается один из элементов системы диагностирования – средство для проведения процесса диагностирования. В качестве средства разработан прибор (устройство), позволяющий проводить диагностирование топливной аппаратуры дизельного двигателя по углу опережения подачи топлива (УОПТ). В устройстве используется бесконтактный оптический способ измерения. Он основан на том, что поверхность освещается светодиодом, отраженный свет попадает на фотодиод, который улавливает изменения яркости, вызванные вибрацией отражающей поверхности в момент впрыска топлива.

Преимуществами оптического способа измерения являются:

- меньшая зависимость от изменений температуры поверхности, вибрация которой измеряется;

- возможность работы с загрязненной, мягкой и неровной поверхностями.

Прибор позволяет проводить диагностику работы топливной аппаратуры (ТА), т.е. контролировать следующие параметры:

- момент впрыска топлива;
- частоту вращения коленчатого вала.

Таким образом, процесс диагностирования делится на части: определение момента впрыска топлива и определение частоты вращения коленчатого вала (КВ), что в совокупности с определением верхней мертвой точки позволяет определить УОПТ [4].

При анализе литературных источников [5,6,7] и опросе экспертов, занимающихся ремонтом топливной аппаратуры, были выяснены причины, по которым происходит отклонение контролируемого параметра от заданных значений (см. табл.).

Причины отклонения контролируемых параметров

Контролируемый параметр		На что влияет	Причины отклонения
УОПТ	поздний	Возрастает выброс СН Снижается выброс NOx	Износ плунжерной пары
	ранний	Снижается выброс СН Возрастает выброс NOx	Износ подшипника кулачкового вала
Нестабильность частоты вращения КВ		Время впрыска топлива	Износ плунжерной пары

Как можно увидеть из таблицы, измерение контролируемых параметров дает возможность узнать причину, по которой они отклонились от номинальных значений: неисправность деталей ТА, от чего зависит неисправность этих деталей, а также определить экологичность работы топливной системы и двигателя в целом.

В процессе разработки прибора были выявлены следующие проблемы:

1. Так как характеристики отражающей поверхности могут быть различными и зависят от материала, шероховатости и т.п., уровень сигнала на приемнике будет сильно отличаться в разных случаях, и заранее неизвестен. Кроме того, на изменение степени освещения влияет технологический разброс характеристик светодиодов.

2. Изменения яркости из-за вибрации очень малы по сравнению со средней засветкой фотодиода. То есть в сигнале присутствует постоянная составляющая, и нет возможности значительно усилить полезный сигнал, т.к. в этом случае также усилится постоянная составляющая, и усилитель «зашкалит».

3. Сигнал с фотодиода имеет малую амплитуду, требует усиления и сильно подвержен помехам, особенно с частотой 50 Гц.

Для решения первой и второй проблем была реализована идея автоматической подстройки уровня опорного сигнала входного усилителя. Для решения третьей проблемы применено экранирование схемы. Печатная плата помещена в металлический корпус, соединенный с общей точкой питания, соединение фотодиода со схемой выполнено экранированным проводом, сам фотодиод в корпусе чувствительного элемента также закрыт металлической крышкой. Применение таких мер позволило значительно снизить влияние на схему помех, что сделало возможным увеличение коэффициента усиления, что, в свою очередь, повысило чувствительность датчика.

Измерение УОПТ возможно определением начала впрыска топлива и частоты вращения коленчатого вала. Поэтому вторая часть прибора позволяет измерить частоту вращения КВ.

Принцип работы прибора при измерении частоты вращения КВ осуществляется следующим способом. На маховике устанавливается отражающая метка и оптический датчик, и на выходе датчика устанавливается высокий уровень, если метка находится в зоне действия датчика, и низкий уровень, если метка не находится в зоне действия датчика. Положение метки выбирается таким образом, чтобы она соответствовала верхней мертвой точке (ВМТ) цилиндра. Сигнал с датчика подается на вход контроллера DI0 (digital input, дискретный вход 0). В составе контроллера имеются таймеры. На таймер подается либо тактовая частота, на которой работает контроллер, либо тактовая частота, деленная на заданное число, которое задается в диапазоне 1...65535. Таймер имеет в составе 16-разрядный счетчик (0...65535). Каждый раз, когда в таймер приходит тактовый импульс, счетчик увеличивается на единицу. Когда значение достигает 65535, происходит переполнение, и счетчик снова считает с нуля. В счетчик таймера можно загружать произвольное значение в произвольный момент времени. Алгоритм определения частоты вращения КВ приведен на рис. 1.

```
Если DI0 = 1
  если DI0_pred = 0
    DI0_pred = 1
     $f = 1 / (T_{IM0} \cdot T)$ 
    установить T_{IM0} = 0
Если DI0 = 0
  DI0_pred = 0
```

Рисунок 1 - Алгоритм определения частоты вращения КВ

Рассмотрим работу алгоритма по определению частоты вращения [8]. При срабатывании датчика, т.е. при появлении на выходе единицы, проверяется предыдущее значение

переменной $DI0_pred$, т.е. предыдущее состояние датчика. При равенстве нулю $DI0_pred$, т.е. начальное определение метки датчиком, вычисляется частота вращения КВ по времени, прошедшему с определения прошлой метки. Далее переменная $DI0_pred$ устанавливается равной единице, для исключения пересчета частоты, за время прохождения метки под датчиком и происходит обнуление таймера $TIM0$. То есть происходит запуск подсчета времени сначала. В момент выхода метки из зоны действия датчика ($DI0=0$) значение переменной $DI0_pred$ сбрасывается в ноль. При определении датчиком метки происходит вычисление частоты и алгоритм повторяет свою работу.

Надо учесть, что частота вращения КВ, по отношению к частоте работы таймера, небольшая. При работе таймера на частоте 10 МГц счетчик переполнится при максимальном значении, равном 65535, за 0,0065535 секунды. Это соответствует частоте 152 Гц. Коленчатый вал вращается с меньшей частотой (пример: частота вращения 3000 об/мин соответствует 50 Гц), т.е. в результате датчик будет определять метку реже, чем 152 раза в секунду и таймер будет успевать переполняться. Для исключения этого на рис. 2 представлен усовершенствованный алгоритм.

```

Если  $DI0 = 1$ 
    если  $DI0\_pred = 0$ 
         $DI0\_pred = 1$ 
         $f = 1 / (ChP \cdot T_p + TIM0 \cdot T)$ 
        установить  $TIM0 = 0$ 
        установить  $ChP = 0$ 
Если  $DI0 = 0$ , то
     $DI0\_pred = 0$ 
Если  $TIM0$  переполнился, то
     $ChP = ChP + 1$ .
    
```

Рисунок 2 - Усовершенствованный алгоритм определения частоты вращения КВ

Для определения УОПТ необходимо измерять угол, на который повернется КВ после начала впрыска до момента прохождения ВМТ. Угол можно вычислить, зная частоту вращения КВ и интервал времени между срабатыванием датчика.

В качестве средства обработки данных был выбран микроконтроллер STM32F407 фирмы ST Microelectronics.

Разработка приложения для микроконтроллера выполнена на языке С с помощью интегрированной среды разработки IAR Embedded Workbench for ARM v6.

Испытания прибора проводились на станции технического обслуживания. В процессе испытаний показания разработанного прибора сравнивались с показаниями приборов стенда, и соответствуют им. В результате выявлено, что разработанным прибором имеется возможность проводить измерения следующих параметров топливоподачи:

- угол опережения подачи топлива;
- частоту вращения коленчатого вала.

На приведенной осциллограмме (рис. 3) видно, что в момент впрыска топлива возникает серия колебаний, причем амплитуда этих колебаний зависит от давления впрыска.

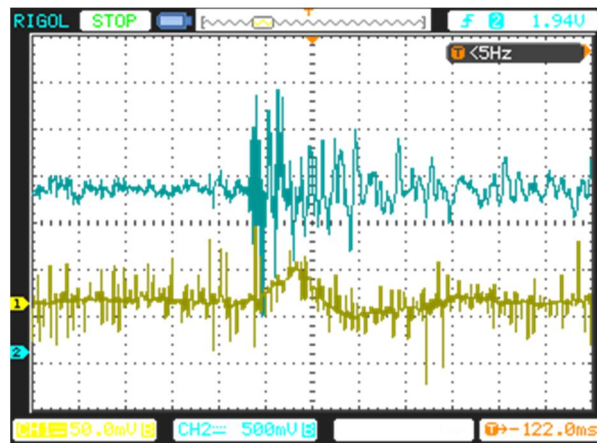


Рисунок 3 - Осциллограмма давления подачи топлива

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что применение разрабатываемого прибора позволит проводить диагностику ТА без ее разборки и снятия с двигателя, с минимумом участия человека и достаточной для определения неисправности точностью.

Список литературы

1. Об утверждении Программы «Энергосбережение-2020» - ИПС «Адilet». [online] Available at: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/P1300000904>.
2. Постановление Правительства Республики Казахстан от 29 декабря 2007 года, № 1372 «Об утверждении Технического регламента о требованиях к выбросам вредных (загрязняющих) веществ автотранспортных средств, выпускаемых в обращение на территории Республики Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 06.02.2013 г.) - ПАРАГРАФ-WWW. [online] Available at: http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30152858.
3. Мирошников Л.В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях // Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.И. Пал. - М.: Транспорт, 1977. - 263 с.
4. Порубов Д.А. Диагностирование топливной аппаратуры по изменению амплитудно-фазовых параметров давления топлива // «Современные техника и технологии» СТТ-2012: Матер. XVIII Междунар. науч.-практич. конф. - Томск (Россия), апрель 2012. - С. 414-415.
5. Системы управления дизельными двигателями. - Пер. с нем. - Первое русское издание. - М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. - 480 с.
6. Гюнтер Г. Диагностика дизельных двигателей / Пер. с нем. Ю.Г. Грудского. - М.: ООО «Книжное изд-во «За рулем», 2007. - 176 с.
7. Головин С.Ф. Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов: Учеб. для сред. проф. образования /С.Ф. Головин, В.М. Коньшин, А.В. Рубайлов и др.; Под ред. Е.С. Локшина. - М.: Мастерство, 2002. - 464 с.
8. Сулейменов Б.А. Алгоритм проведения процесса диагностирования топливной аппаратуры дизельного двигателя / Б.А. Сулейменов, W. Wójcik, Д.А. Порубов // «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика»: Материалы Междунар. науч.-практич. конф. / КазНТУ. - Алматы (Казахстан), 5-6 декабря 2012. - С. 166-170.

Получено 7.02.2014

УДК 621.785

Б.К. Рахадиллов

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск

М.К. Скаков

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, г. Курчатов

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

Одной из задач дальнейшего развития машиностроения является повышение срока службы металлорежущих инструментов (сверла, метчики, развёртки и др.) [1]. При длительной эксплуатации режущих инструментов изнашивание их рабочей поверхности сопровождается снижением эксплуатационных показателей, что в частности вызывает ухудшение качества изготавливаемых изделий и часто требует их замены. Это повышает себестоимость производства из-за больших амортизационных отчислений.

Поэтому режущие инструменты, прежде всего, должны быть износостойкими, прочными, обладать высокой теплостойкостью и коррозионной стойкостью [2]. Данных свойств можно добиться, применяя поверхностную химико-термическую обработку металлов, и наиболее приемлемым и обеспечивающим данные требования является процесс азотирования [3]. Кроме того, азотирование является наиболее эффективным методом химико-термической обработки (ХТО), которая обеспечивает высокий комплекс эксплуатационных свойств обрабатываемых режущих инструментов: твердость, износостойкость, противозадирные свойства, теплостойкость, коррозионную стойкость, усталостную прочность [4]. В настоящее время разработано большое количество технологических процессов азотирования, таких, как жидкое азотирование в цианистых ваннах, газовое азотирование, ионно-плазменное азотирование и т.д. [5].

Однако, несмотря на массу достоинств этих процессов, они имеют существенные недостатки: большая длительность процесса, дороговизна и экологическая вредность процесса, поскольку при азотировании потребляется большое количество энергии и технологических материалов, а также во многих случаях в качестве насыщающей среды используется аммиак - вредный для окружающей среды. Поэтому в настоящее время актуальной задачей является разработка ресурсосберегающих технологий, позволяющих интенсифицировать процесс поверхностного насыщения, уменьшить время обработки, снизить энергозатраты, улучшить экологические показатели процесса и сократить расход насыщающего газа.

С целью решения этих задач авторами данного проекта разработан ресурсосберегающий, воспроизводительный способ азотирования режущих инструментов в электролитной плазме, который практически не имеет вышеизложенных недостатков [6]. Кроме того, разработанный способ электролитно-плазменного азотирования может быть осуществлен в условиях малого термического участка единичного и мелкосерийного производства, на опытных и ремонтных предприятиях при минимальных затратах на оборудование, вспомогательные материалы и электроэнергию, при простоте его осуществления и максимальной эффективности обработки.

В связи с этим авторы настоящей работы предлагают использовать технологию электролитно-плазменного азотирования в электролите на основе карбамида для повышения

износостойкости режущего инструмента из быстрорежущих сталей.

Принципиальной новизной предлагаемой технологии является использование в качестве рабочей среды электролитно-плазменного катодного разряда и электролита на основе карбамида. Это позволяет сократить накладные расходы, упростить технологическое оборудование и сделать процесс модифицирования экологически безопасным. При этом предлагаемая технология является энергоэффективной за счет интенсификации процесса модифицирования электролитно-плазменными разрядами, экологически чистой за счет использования в качестве насыщающей среды электролита на основе карбамида и превосходит имеющиеся аналоги по экономичности, а самое главное - экологичности.

На рис. 1 показаны схема установки и процесс электролитно-плазменного азотирования образцов быстрорежущих сталей.

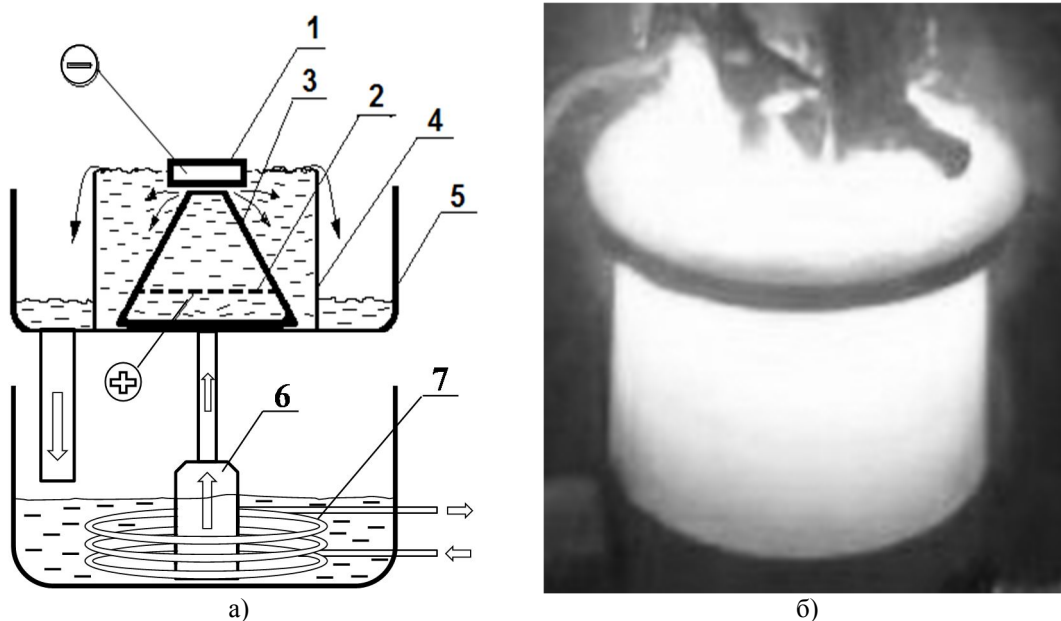


Рисунок 1 - Схема установки и процесс электролитно-плазменного азотирования образца быстрорежущей стали: 1 - обрабатываемый образец (катод); 2 - анод из нержавеющей стали с отверстиями; 3 - конусообразная перегородка; 4 - рабочая камера - ванна с электролитом; 5 - поддон; 6 - насос; 7 - теплообменник

Технология азотирования быстрорежущих сталей осуществляется следующим образом [6-8]. Перед началом работы рабочая ванна заполняется электролитом. Затем электролит с помощью насоса, установленного на дне рабочей ванны, поступает в электролитическую ячейку. При этом электролит выходит через отверстие конусообразной перегородки в виде струи и заполняет электролитическую ячейку. Затем электролит сливается через край электролитической ячейки в поддон, а затем обратно в рабочую ванну. Таким образом, электролит находится в циркуляционном режиме. Скорость подачи электролита 2 (расход) составляет 4-7 л/мин. Скорость подачи охлаждающей проточной воды в теплообменник составляет 3-6 л/мин. Принятые параметры охлаждения электролита позволяют поддерживать температуру в пределах 40-70 °С при нагреве образцов до температуры 500-600 °С. С помощью устройства для крепления обрабатываемых изделий обрабатыва-

емое изделие погружается в электролит так, чтобы обрабатываемая зона изделий находилась на расстоянии 2-3 мм от отверстия конусообразной перегородки. При этом через отверстие конусообразной перегородки, находящейся ниже высоты электролитической ячейки на 10-15 мм, на обрабатываемую зону подается струя электролита. Затем анод подключается к положительному полюсу источника питания, а обрабатываемое изделие – катод – к его отрицательному полюсу. Для нагрева до температуры насыщения между электродами подается напряжение 260-320 В и при этом плотность тока составляет 3-4 А/см². При таких напряжениях формируется интенсивно светящийся плазменный слой в прикатодной области, и изделие нагревается со скоростью 60-100 °С/сек. При этом между электродами образуется аномальный дуговой разряд, из-за которого обрабатываемый инструмент быстро нагревается [9]. После достижения температуры насыщения (через 5-8 сек) резкое снижение напряжения до 110-200 В инициирует переход импульсного дугового разряда в тлеюще-искровой разряд. При этом в прикатодной области образуется устойчивый порагазовый слой (порагазовая оболочка), за счет которого поддерживается температура на определенном уровне. При необходимости температура также управляется изменением напора электролита. Такой режим двухступенчатого нагрева, в свою очередь, не позволяет подвергать инструмент эрозии, ухудшению шероховатости, а также обеспечивает возможность управления температурой разогрева обрабатываемого инструмента-катода, а следовательно, и процессом диффузионного насыщения, то есть позволяет плавно регулировать и выдерживать температуру на определенном уровне. Величина вторичного напряжения, в свою очередь, зависит от состава электролита и от соотношений площади анода к катоду.

В рамках данной работы было проведено азотирование с электролитно-плазменным нагревом образцов инструментальных быстрорежущих сталей Р9, Р6М5 и Р18, подвергнутых стандартной термической обработке (закалка с последующим трехкратным отпуском) для каждого вида стали [10].

Перед электролитно-плазменным азотированием образцы стали были отшлифованы и отполированы. Процесс обработки проводили в электролите из водного раствора, содержащем 20 % карбамида, 10 % карбоната натрия, в следующем режиме: температура азотирования образцов – 550 °С, подаваемое напряжение между анодом и образцом при нагреве до температуры азотирования – 320 В, а при выдержке при 550 °С – 200 В, время азотирования - 7 минут. Выбор электролита основан на том, что электролит из водного раствора, содержащий 20 % карбамида и 10 % карбоната натрия, является не токсичным и экологически чистым. Кроме того, этот электролит имеет оптимальную электропроводность, которая способствует регулярному нагреву плазменного разряда в катодном процессе.

Металлографические исследования проведены на оптическом микроскопе «АЛТАМИ-МЕТ-1М». Микротвердость образцов измеряли методом вдавливания алмазного индентора на приборе ПМТ-3М при нагрузке 100 г и выдержке под нагрузкой 10 с.

Испытания образцов на стойкость к абразивному износу проводили на экспериментальной установке для испытаний на абразивное изнашивание при трении о нежестко закрепленные частицы абразива по схеме «вращающийся ролик – плоская поверхность» в соответствии с ГОСТ 23.208-79, который совпадает с американским стандартом ASTM C 6568. Для тестирования абразивного истирания на резиновом круге (шлифовальный круг на каучуковой связке) поверхности образцов были отшлифованы и отполированы, чтобы размер шероховатости был $R_a=1,2$ мкм, также они были очищены с помощью ацетона и высушены. Цилиндрический резиновый ролик прижат радиальной поверхностью к плос-

кой поверхности исследуемого образца с усилием 22 Н, вращением с частотой 1 с^{-1} . Скорость поступления абразивных частиц между резиновым колесом и образцом, то есть в зону испытания, составила 41-42 г/мин. В качестве абразивных частиц использовался электрокорунд зернистостью 200...250 мкм. Износ замеряли весовым методом на аналитических весах АДВ-200 с точностью до 0,0001 г. Длина всего износа составляла 28,8 м. Перед измерением образцы сжигались с помощью сжатого воздуха для удаления оставшихся частиц песка на пробах.

Одним из наиболее важных свойств азотированного слоя является твердость. Твердость и толщина диффузионного слоя зависят от содержания легирующих элементов в материале. Известно, что при одинаковых условиях азотирования (температуры и времени обработки) твердость диффузионного слоя с увеличением содержания легирующих элементов нарастает, тогда как толщина диффузионного слоя уменьшается [11].

На рис. 2 приведены графики распределения микротвердости по глубине азотированного слоя быстрорежущих сталей. Видно существенное увеличение микротвердости на поверхности образцов сталей.

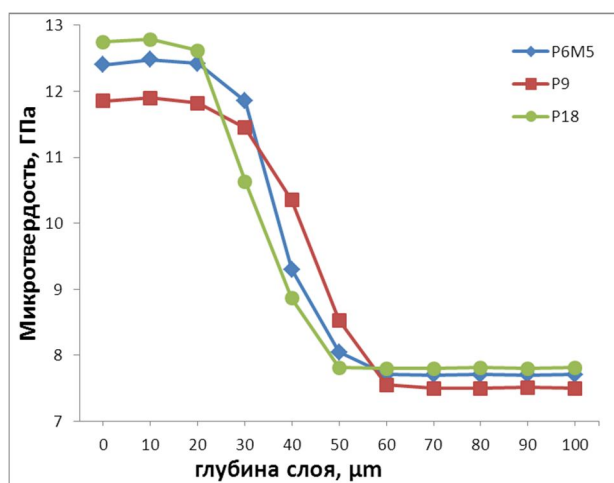


Рисунок 2 - Распределение микротвердости по глубине азотированного слоя быстрорежущих сталей

Характер переходной зоны имеет плавный переход от упроченного слоя к основе, при этом микротвердость основы существенно не изменяется. Видно, что микротвердость азотированного слоя сталей P9, P6M5 и P18 отличается друг от друга. Это связано с тем, что у этих сталей присутствуют легирующие элементы в различном количестве. Высокая твердость азотированного слоя стали P18 по сравнению со сталями P6M5 и P9 связана с тем, что в стали P18 присутствуют в большем количестве нитридообразующие элементы, в частности вольфрам.

Микроструктура сталей после электролитно-плазменного азотирования приведена на рис. 3. Видно, что на поверхности наблюдается темнотравящийся азотированный слой, представляющий собой азотистый мартенсит. При этом темнотравящаяся зона плавно переходит в основу. Толщина азотированного слоя сталей P9, P6M5 и P18 составляет 45 мкм, 40 мкм, 35 мкм, соответственно.

Результаты испытания образцов на абразивный износ показали уровень потерь массы образцов после испытания. На рис. 4 показаны значения потери массы образцов сталей

P9, P6M5 и P18 до и после азотирования. Видно, что потеря массы азотированных образцов меньше, чем неазотированных образцов, что указывает на повышение стойкости к абразивному износу быстрорежущих сталей после азотирования. При этом стойкость к абразивному износу сталей P6M5 и P18 до и после азотирования незначительно превышает показатели стали P9. Это связано с тем, что сталь P9 характеризуется меньшим количеством твердых карбидов, легирующих элементов и соответственно нитридов легирующих элементов [12].



Рисунок 3 - Микроструктура быстрорежущих сталей после электролитно-плазменного азотирования при $T = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$: а) P9; б) P6M5; в) P18

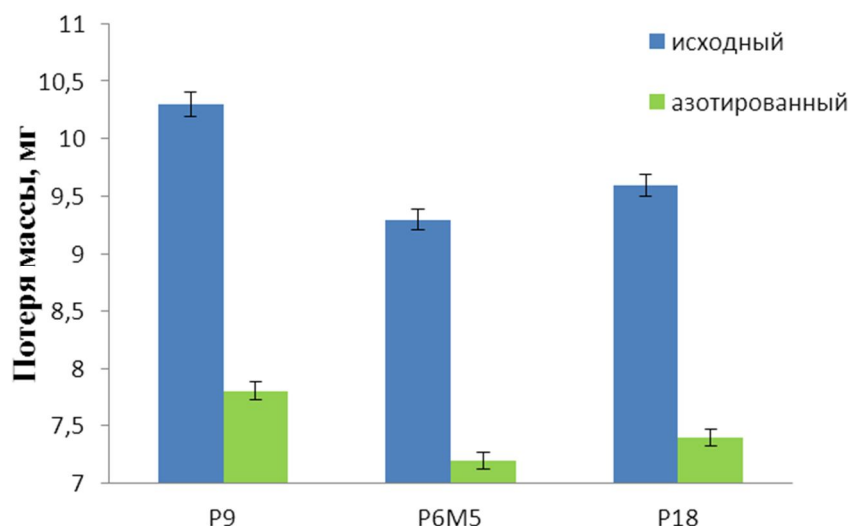


Рисунок 4 - Стойкость образцов сталей P9, P6M5 и P18 к абразивному износу

Таким образом установлено, что разработанная технология электролитно-плазменного азотирования позволяет получить азотированный слой толщиной 35-45 мкм с высокой стойкостью к абразивному износу. Значительное повышение микротвердости и износостойкости быстрорежущих сталей после электролитно-плазменного азотирования показывает перспективность применения способа электролитно-плазменного азотирования для повышения работоспособности режущих инструментов из быстрорежущих сталей.

Анализируя полученные в работе результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Разработана технология электролитно-плазменного азотирования режущих инструментов из быстрорежущих сталей в катодном двухступенчатом режиме, которая позволя-

ет проводить модифицирование поверхности, не подвергая поверхность изделий эрозии, не ухудшая шероховатости, также позволяет обеспечить высокую кинетическую эффективность процесса диффузионного насыщения, плавно регулировать температуру азотирования на определенном уровне, а следовательно, и управлять процессом диффузионного насыщения. При этом предлагаемая технология является энергоэффективной за счет интенсификации процесса азотирования электролитно-плазменными разрядами, экологически чистой за счет использования в качестве насыщающей среды электролита на основе карбамида и превосходит имеющиеся аналоги по экономичности, а самое главное - экологичности.

2. Экспериментально установлено, что после электролитно-плазменного азотирования на поверхности быстрорежущих сталей Р9, Р6М5 и Р18 образуется азотированный слой толщиной 35-45 мкм, обладающий повышенной твердостью и стойкостью к абразивному износу по сравнению с исходным материалом.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК на 2013-2015 гг. по программе «Грантовое финансирование научных исследований».

Список литературы

1. Григорьев С.Н. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента: Монография / С.Н. Григорьев, В.П. Табаков, М.А. Волосова. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 379 с.
2. Белый А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А.В. Белый, Г.Д. Карпенко, Н.К. Мышкин. - М.: Машиностроение, 1991. - 209 с.
3. Лахтин Ю.М. Теория и технология азотирования: Монография / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Г. Шпис и др. - М.: Металлургия, 1991. - 320 с.
4. Арзамасов Б.Н. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин, Ю.С. Елисеев и др. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. - 400 с.
5. Суминов И.В. Мир материалов и технологий: В 2 т. / И.В. Суминов, П.Н. Белкин и др. - М.: Изд-во Техносфера, 2011. - Т. 1. - 464 с.
6. Пат. на полезную модель Республики Казахстан: МПК6 С21Д 1/44. Устройство для нагрева деталей в электролите / М.К. Скаков, В.К. Рахадиллов. - № 912. - Заявл. 10.05.2012; Опубл. 15.02.2013, Бюл. № 2.
7. Инновационный пат. на изобретение Республики Казахстан: МПК С21Д 1/09. Способ плазменно-дугового упрочнения режущего инструмента / М.К. Скаков, В.К. Рахадиллов. - № 26919. - Заявл. 10.05.2012; Опубл. 15.05.2013, Бюл. № 5.
8. Рахадиллов В.К. Способ упрочнения рабочей поверхности режущего инструмента электролитно-плазменным нагревом / В.К. Рахадиллов, М.К. Скаков, М.К. Рахадиллов // Станочный парк. - 2013. - № 6 (105). - С. 30-33.
9. Белкин, П.Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов / П.Н. Белкин. - М.: Мир, 2005. - 336 с.
10. Гольдштейн М.И. Специальные стали / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. - М.: Металлургия, 1985. - 408 с.
11. Лахтин Ю.М. Теория и технология азотирования / Ю.М. Лахтин, Я.Э. Коган, Г.И. Шпис и др. - М.: Металлургия, 1991. - 320 с.
12. Артингер И. Инструмента тльные стали и их термическая обработка. - М., 1982. - 312 с.

Получено 14.02.2014

