

according to which the mathematical model of process is developed is developed. By development of algorithm of optimization the mathematical method of optimization - a method of nonlinear programming is chosen, the detailed block diagram of algorithm of optimization according to which the program of the decision of the given problem on the computer is made is developed. Calculations of optimum modes are carried out and efficiency of the developed algorithm of optimization is confirmed

Ключевые слова: атмосферная колонна, алгоритм оптимизации, математическая модель, критерий оптимизации

Процесс переработки нефти в колонне К-102 является сложным, многофакторным, с большим числом взаимосвязанных параметров объектом, управление которым для технолога представляет довольно сложную и трудоемкую задачу, приводящую к разнообразным тактикам ручного управления, что снижает эффективность процесса.

Для повышения эффективности данного процесса, связанного с увеличением выхода светлых нефтепродуктов, необходимо управление им по оптимальному алгоритму с использованием математической модели процесса и средств вычислительной техники.

Задача оптимизации статических режимов в колонне К-102 формулируется следующим образом: при заданных значениях управляющих воздействий по выходам фракций 140–180°C, 180–230°C, 230–360°C (в соответствии с технологическими требованиями их максимальных значений) обеспечить выполнение качественных показателей данных фракций по соответствующим температурам их выпаривания и при заданных ограничениях на диапазоны остальных управляющих воздействий в пределах технологического регламента.

Ввиду наличия возмущающих и неконтролируемых факторов процесс ректификации в колонне К-102 можно отнести к классу стохастических и для получения его математической модели использовать методы математической статистики.

На основании данных о технологических параметрах процесса, взятых из режимных листов, определены их основные статистические характеристики, оценена степень их колеблемости и проведен корреляционный анализ данных параметров.

Определены виды (формы) и разработаны адекватные уравнения регрессии математической модели относительно всех выходных переменных.

На основании математической формулировки задачи оптимизации, разработанной математической модели выбран наиболее эффективный в данных условиях математический метод оптимизации – один из методов нелинейного программирования – метод сканирования.

С применением выбранного метода оптимизации и математической модели процесса разработана детальная блок-схема алгоритма оптимизации.

По данной блок-схеме разработана программа решения задачи оптимизации на ЭВМ и проведен расчет оптимальных режимов статики процесса в колонне.

Сравнительный анализ режимов нормальной эксплуатации и расчетных оптимальных режимов показал возможность повышения эффективности процесса за счет увеличения выхода светлых нефтепродуктов.

Проведенная оценка работоспособности и эффективности разработанного алгоритма оптимизации показала возможность его применения в различных диапазонах изменения нагрузки колонны по расходу отбензиненной нефти.

© ПГУ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

А. В. ШАРДЫКО, М. Л. ХЕЙФЕЦ, В. И. СЕМЕНОВ

Priority problem of machine building on modern stage alongside with provision due technical level is increasing quality and reliability of the machines. Earlier specialist it is not enough was used possibility technological and working heredity i.e. influences result previous operation on working characteristic of the final products. In recently questions technological and working heredity is spared all greater attention. Technological and working heredity in view of person of specifics of the laboratory studies at repair of the machines to date little were considered. So study of the technological inheritance physico-mechanical and geometric parameter quality when recovering the details in repair production particularly currently. The called on studies have allowed to reveal the defining processes of the issue characteristic when recovering and processing the worn-out surfaces supporting neck and fist of the camshaft of the engine ZMZ-53 and in accordance with them to develop the regulationses for operation of the technological process

Ключевые слова: технологическое и эксплуатационное наследование, физико-механические, геометрические параметры качества

1. ВВЕДЕНИЕ

Технологическое управление – один из основных методов повышения качества машин, зачастую более эффективный, чем конструктивные решения и надежная эксплуатация. Ранее специалистами недооценивалась возможность технологической и эксплуатационной наследственности, т.е. результатов предыдущих операций, на эксплуатационные свойства готовых изделий. В последнее время вопросам технологической и эксплуатационной наследственности уделяется все большее [1, 2].

Обеспечение надежности и высокого качества продукции на этапе создания и освоения производства и ремонта изделий заключается в организации такой технологической подготовки и осуществлении производства, при которых продукция соответствовала бы требованиям конструкторской документации и не имела бы вредных последствий от технологических методов обработки. Поэтому все операции и их технологические переходы следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как конечные характеристики формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются при эксплуатации машины, ее техническом обслуживании и ремонте [2].

Технологическая и эксплуатационная наследственность в виду особой специфики лабораторных и натурных исследований при ремонте машин до настоящего времени мало рассматривалась. Поэтому изучение технологического наследования физико-механических и геометрических параметров качества при восстановлении деталей в ремонтном производстве особенно актуально.

2. АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ НАСЛЕДОВАНИЯ

Под наследственностью в технологии машиностроения подразумевают явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных свойствах деталей машин [1, 2].

Носителями наследственной информации являются обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их параметров. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе, проходя через различные операции и переходы, испытывая воздействия технологических факторов [3].

В технологической цепочке существуют своего рода «барьеры». Некоторые технологические факторы преодолеть эти «барьеры» не могут и в таком случае их влияние на конечные свойства объекта отсутствуют. Другие факторы такие «барьеры» проходят, но при этом значительно теряют свою исходную силу и влияют на конечные свойства очень слабо [4].

Самым существенным «барьером» являются термические операции, а также операции, сопровождающиеся поверхностным деформированием и упрочнением, так как они изменяют микроструктуру обрабатываемого материала, микрогеометрию формируемой поверхности, приводят к короблению детали и искажению ее формы. В ходе этих операций различные пороки поверхности, такие как структурная неоднородность, поры, микротрещины, могут развиваться или «залечиваться».

Следовательно, процессом технологического наследования можно управлять, с тем, чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранить в течение всего технологического процесса, а свойства, влияющие отрицательно, – ликвидировать в его начале [1, 2].

Технологический процесс восстановления поверхности изделия может быть представлен в виде графа, выделяющего операции подготовки поверхности, ее восстановления и упрочнения, а также последующей обработки. Граф, как правило, является ориентированным, а параметры качества взаимосвязаны между собой. Рассмотрим развернутый граф (рис. 1), который предусматривает, с одной стороны, последовательность операций технологического процесса, а с другой – основные параметры детали и их изменение в ходе технологического процесса. Граф выделяет влияние отдельных параметров детали на качество сборки, но также может показывать изменение этих параметров в процессе эксплуатации собранного изделия.

Начальная вершина графа, при описании технологического процесса представляет собой заготовку (З), а для ремонтного производства – исходную изношенную деталь. Конечная вершина технологического процесса – готовая восстановленная и упрочненная деталь (Д), поступающая на сборку.

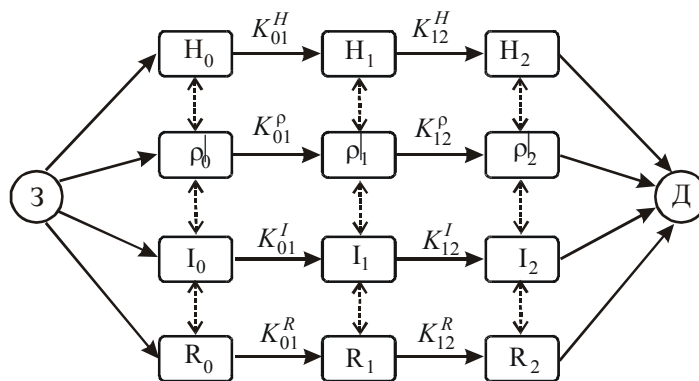


Рис. 1 Развернутый граф технологического наследования, учитывающий комплекс параметров качества в процессе подготовки, восстановления, упрочнения и обработки поверхностей детали

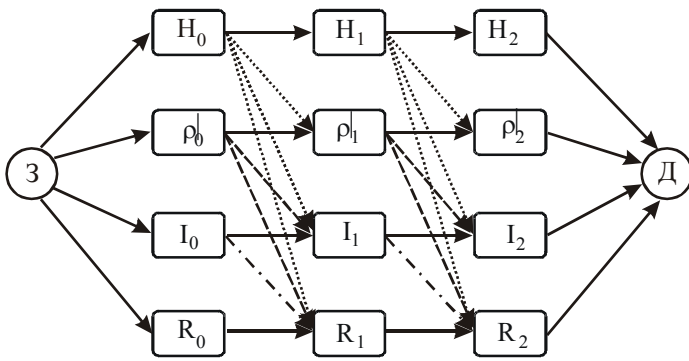


Рис.2. Граф технологического наследования, отражающий взаимовлияние физико-механических и геометрических параметров качества рабочих поверхностей детали

Общую структуру технологического процесса можно представить как сложную многомерную систему в виде последовательности изменения основных параметров качества детали [2,5].

На вход системы поступают различные характеристики заготовки $\{S_{10}, S_{20}, \dots, S_{m0}\}$, а на выходе обеспечивается соответствующий набор тех же характеристик для готовой детали $\{S_{1p}, S_{2p}, \dots, S_{mp}\}$. Эти изменения определяются действием совокупности технологических $\{t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}\}$ факторов для каждой операции φ_1 технологического процесса.

Так, для одного из параметров качества S после окончательной обработки:

$$S_p = a_p S_{p-1}^{b_p} \quad (2)$$

Количественные связи технологической наследственности, зависящие от выбора метода обработки, определяются коэффициентами b , а основные условия обработки внутри этого метода – коэффициентами a .

Выполнив преобразования с уравнениями (2) для предшествующих операций $\varphi_{p-1}, \varphi_{p-2}, \dots, \varphi_1$ найдем общую математическую модель изменения параметра качества для всего технологического процесса:

$$S_p = a_p a_{p-1}^{b_p} a_{p-2}^{(b_p b_{p-1})} \dots a_1^{(b_p b_{p-1} \dots b_2)} S_0^{(b_p b_{p-1} \dots b_1)} \quad (3)$$

Коэффициент наследственности a_i описывает влияние технологических факторов $t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}$ на рассматриваемый параметр качества S_j для операции φ_i и может быть представлен:

$$a_i = k_{i0} t_{i1}^{k_{i1}} t_{i2}^{k_{i2}} \dots t_{in}^{k_{in}}, \quad (4)$$

где $k_{i0}, k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{in}$ – эмпирические коэффициенты влияния технологических факторов.

Анализ выражений (3) и (4) показывает, что весь технологический процесс может быть выражен в виде суммы действия окончательной операции и некоторой доли влияния предшествующих операций на исходное состояние заготовки (изношенной детали) S_0 , которые определяются коэффициентами наследственности b_1, b_2, \dots, b_p .

Если на какой-либо операции φ_i коэффициент технологической наследственности $b_i = 0$, то это означает отсутствие влияния исходного качества состояния заготовки на окончательное состояние после данной операции, что может служить интерпретацией действия операции φ_i как непреодолимого «технологического барьера» [2, 5]. При изготовлении деталей требуется обеспечить значительное число параметров качества, поэтому необходимо рассматривать общие математические модели. Такие модели могут быть представлены системой уравнений, описывающих влияние технологических факторов $t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1n}$ на отдельные выходные параметры качества обработки $S_{1p}, S_{2p}, \dots, S_{mp}$.

3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ

Для описания технологического наследования эксплуатационных свойств распределительного вала двигателя ЗМЗ-53 в процессе ремонта рассматривалась совокупность физико-механических и геометрических свойств: твердости (Н), отклонений формы (ρ), точности размеров (I) и рельефа поверхности (R).

Для этого в качестве определяющего свойства поверхностей опорных шеек и кулачков принималась физико-механическая характеристика – твердость по Роквеллу (HRC), а в качестве зависимых от нее последовательно рассматривались отклонения формы поверхностей (биение ρ), точность размеров (квалитет IT) и шероховатость поверхности (среднеарифметическое отклонение профиля Ra).

Ориентированные ребра графа показывают передачу эксплуатационных свойств детали при восстановлении, упрочнении и обработке. Передача ребра описывается коэффициентом наследования K , показывающим количественное изменение свойства и равным отношению предыдущих S_j и последующих S_{j+1} значений свойства.

$$K = S_j / S_{j+1} \quad (1)$$

Помимо прямой передачи свойств (рис.1) при технологическом наследовании целесообразно оценивать можно их взаимовлияние (рис.2).

Эксплуатационные параметры измерялись как на исходных изношенных деталях (I) двигателей, поступивших на капитальный ремонт, так и после технологических операций маршрута восстановления (II) и обработки (III) детали.

Рассматривался типовой технологический маршрут процесса восстановления распределительного вала двигателя ЗМЗ-53, состоящий из следующих операций:

1) подготовительная; 2) мойка и очистка; 3) дефектация; 4) подрезка торцов; 5) наплавка кулачков вала; 6) правка вала по шейкам; 7) обдирочное шлифование наплавленных кулачков; 8) наплавка поверхности под шестерню и эксцентрик; 9) наплавка опорных шеек; 10) правка вала; 11) обдирочное шлифование поверхностей под эксцентрик и шестерню, опорных шеек; 12) фрезерование шпоночного паза; 13) закалка опорных шеек, шестерни и кулачков; 14) правка вала; 15) шлифование предварительное опорных шеек; 16) шлифование предварительное кулачков; 17) шлифование окончательное опорных шеек; 18) правка вала; 19) шлифование окончательное кулачков; 20) приемочный контроль; 21) мойка; 22) консервация.

Измерения твердости HRC, отклонений формы ρ , точности размеров IT и рельефа поверхности Ra проводились на большой партии ремонтируемых изделий (50штук). Исследуемые валы разбивались на 10 классов, имеющих различную степень износа рабочих поверхностей. В каждом из 10 исследуемых классов в качестве расчетного значения принималось среднеарифметическое значение.

На основании расчетных результатов по формуле (1) определялись коэффициенты передачи наследования K^H, K^p, K^l, K^R для графа на *рис.1* и коэффициенты взаимовлияния технологического наследования $K^{Hp}, K^{Hl}, K^{HR}, K^{pl}, K^{pR}, K^{lR}$ для графа на *рис.2*. Коэффициенты взаимовлияния рассчитывались как передача K для геометрических параметров качества K^{pl}, K^{pR}, K^{lR} или как величина обратная передаче $1/K$ для взаимовлияния физико-механических и геометрических параметров.

Для оценки технологического наследования по технологическому маршруту рассчитывались результирующие коэффициенты K_p , равные произведению соответствующих коэффициентов для эксплуатационных параметров качества по всей последовательности операций. Для определения степени влияния технологического наследования на различных технологических операциях рассчитывались коэффициенты сравнения K_c , равные отношению коэффициентов взаимовлияния на предшествующих и последующих операциях.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ НАСЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА

Изучение экспериментальных данных позволило определить основные зависимости технологического наследования физико-механических и геометрических параметров качества распределительного вала двигателя ЗМЗ-53 в процессе ремонта (*табл.1 и 2*). Коэффициенты передачи (*табл. 1*) показывают, что технологический процесс восстановления и упрочнения коренным образом отличается от рационального технологического процесса механической обработки. При механической обработке в процессе изготовления детали на начальных операциях устраняется вредное влияние технологической наследственности, т.е. коэффициенты велики ($K \gg 1$) для геометрических и малы для физико-механических ($1 > K > 0$) параметров качества, а на заключительных операциях они стабилизируются ($K \rightarrow 0$).

Коэффициенты взаимовлияния (*табл.2*) позволяют оценить значимость как технологических операций, так и технологических факторов и параметров на отдельных операциях. Так, твердость материала существенно влияет на геометрические параметры. Для отклонений формы это влияние особенно важно на начальных операциях. В остальных случаях оно стабильно по всем технологическим переходам.

Геометрические параметры цилиндрических поверхностей опорных шеек наследуются слабо, особенно это заметно на начальных операциях. Причем для микрорельефа поверхности (ее шероховатости) операции восстановления являются технологическими «барьерами» (так как K_pR и $K_lR \rightarrow 0$). Дальнейшее влияние предыдущих геометрических параметров на последующие также не велико и сказывается только на точности обработки.

Графики изменения твердости опорных шеек и кулачков распределительных валов двигателя ЗМЗ-53 показывают, что технологическими «барьерами» при восстановлении рабочих поверхностей являются операции наплавки, а окончательные геометрические параметры качества поверхностей формируются при шлифовании. В результате исследований установлено, что в процессе электродуговой наплавки проволоки Св-08Г2С в среде CO_2 твердость поверхности стабилизируется (колебания в пределах 3...5 HRC), в то время как исходные детали имели существенный разброс (до 20 HRC). После наплавки проволоки заданная в технической документации твердость обеспечивается последующей термической обработкой.

Таблица 1. Коэффициенты передачи технологического наследования K и результирующие коэффициенты K_p твердости H , отклонений формы ρ , точности размеров I и рельефа поверхности R распределительного вала двигателя ЗМЗ-53 (в числителе – средние коэффициенты по опорным шейкам вала, в знаменателе – по кулачкам)

| Операции процесса ремонта | Коэффициенты передачи технологического наследования | | | |
|---|---|--------|-----------|-----------|
| | K^H | K^p | K^I | K^R |
| Дефектация-Восстановление: K_1 | 3,3/3,3 | 0,8/- | 0,3/0,9 | 0,4/0,6 |
| Восстановление- Окончательная обработка: K_2 | 0,3/0,3 | 1,9/- | 3,9/1,1 | 4,1/2,9 |
| $K_p=K_1 \cdot K_2$ | 0,99/0,99 | 1,52/- | 1,17/0,99 | 1,64/1,74 |

Таблица 2. Коэффициенты взаимовлияния K и сравнения K_c при передаче физико-механических H и геометрических ρ , I , R параметров поверхностей распределительного вала двигателя ЗМЗ-53

| Операции процесса ремонта | Коэффициенты взаимовлияния технологического наследования | | | | | |
|---|--|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | K^{Hp} | K^{HI} | K^{HR} | K^{pI} | K^{pR} | K^{IR} |
| Дефектация-Восстановление: K_1 | 1208/- | 302/23,9 | 35,5/45,8 | 0,3/- | 0,04/- | 0,03/1,6 |
| Восстановление- Окончательная обработка: K_2 | 538/- | 394/8,6 | 43,6/38,7 | 1,0/- | 0,1/- | 0,4/5 |
| $K_c=K_1/K_2$ | 2,25/- | 0,77/2,78 | 0,81/1,18 | 0,3/- | 0,4/- | 0,08/0,32 |

Геометрические параметры поверхности (точность размеров IT , шероховатость поверхности Ra , радиальное биение ρ) после черновой обработки наследуются на чистовых операциях шлифования шеек и кулачков распределительного вала. Геометрические отклонения поверхностей после правки сохраняются на последующих операциях обработки и сборки.

Анализ зависимостей влияния технологических факторов на наследование параметров качества дал возможность выявить определяющие процессы передачи свойств при восстановлении, упрочнении и обработке изношенных поверхностей опорных шеек и кулачков распределительного вала двигателя ЗМЗ-53.

В результате анализа установлено, что в процессе электродуговой наплавки проволоки Св-08Г2С в среде CO_2 на твердость HRC поверхности оказывают влияние сила тока электрической дуги, диаметр наплавочной проволоки, а также скорости подачи и главного движения обработки. Определяющим параметром для управления качеством наплавки является сила тока. При газопламенной наплавке порошка ПГ-10Н-01 на твердость восстанавливаемой поверхности наиболее сильное влияние оказывают расход как самого порошка, так и газа – ацетилен.

При окончательном шлифовании на твердость HRC и шероховатость Ra поверхности влияют радиальная и тангенциальная составляющие силы резания, которые определяются глубиной резания и подачей при шлифовании, а также скоростями вращения круга и заготовки. Поэтому при управлении качеством обработки главное внимание следует уделять глубине резания и подаче шлифовального круга.

По результатам исследований рекомендовано:

1. Обеспечить в процессе наплавки однородность материала покрытия, регулируя прежде всего силу тока, расход наплавочного материала и газа, а в процессе закалки высокую твердость поверхности (54...56 HRC).
2. Устранить операции правки после термической обработки из технологического процесса восстановления распределительного вала для снижения взаимного радиального биения поверхностей до 0,02 мм и обеспечения требуемой точности рабочих поверхностей.

5. ВЫВОДЫ

Проведенные исследования технологического наследования физико-механических и геометрических параметров качества и анализ возможностей и целесообразности безличного ремонта распределительного вала двигателей ЗМЗ-53 показали:

1. Технологическое наследование в процессе восстановления и упрочнения коренным образом отличается от рационального технологического процесса механической обработки, в котором на начальных операциях устраняется вредное влияние технологической наследственности, а на заключительных операциях стремятся к улучшению параметров. При восстановлении деталей как геометрические, так и физико-механические параметры сначала ухудшаются, затем улучшаются, однако в целом по всему технологическому процессу физико-механические характеристики восстанавливаются, а геометрические, связанные с микрорельефом поверхности, улучшаются.

2. При технологическом наследовании свойств в процессе восстановления проявляется взаимосвязь физико-механических и геометрических параметров качества детали. Твердость материала существенно влияет на отклонения формы детали, а также на точность размеров поверхностей, влияние на шероховатость геометрических и физико-механических параметров качества не заметно.
3. В процессе восстановления операции наплавки и правки являются наиболее заметными «технологическими барьерами» для физико-механических параметров материала и напряженного состояния поверхностного слоя, которые затем сказываются на отклонениях формы и точности размеров готовых деталей при обкатке в двигателе и дальнейшей эксплуатации.
4. По результатам исследования технологического наследования рекомендовано обеспечивать в процессах наплавки и закалки однородность материалов покрытий и высокую твердость поверхностей, устранять операции правки после термической обработки и контролировать деформацию детали для снижения радиального биения поверхностей и обеспечения требуемой точности детали в сборочном узле.

Литература

1. Технологические основы высокоэффективных методов обработки деталей / П. И. Яцерицын, М. Л. Хейфец, Б. П. Чемисов и др. – Новополоцк: ПГУ, 1996. – 136 с.
2. Технологические основы управления качеством машин / А. С. Васильев, А. М. Дальский, С.А.Клименко и др./ - М.: Машиностроение, 2003. – 256с.
3. Иванов В. П. Основы ремонта машин: Учебное пособие. - Новополоцк: ПГУ, 2000. – 245с.
4. Дальский А. М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин.– М.: Машиностроение, 1975.– 223 с.
5. Яцерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. – Мн.: Наука и техника, 1977. – 256 с.

©БРУ

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

А. В. ШВАЯКОВ, Б. Б. СКАРЫНО

This paper present an approach to implementing a fuzzy logic controller on the MCS, AVR and PLD in order to archive best transitional process in a system with time-varying behavior. Numerical simulation show the effectiveness of fuzzy PI controller in comparison with conventional PI controller

Ключевые слова: нечеткий регулятор, нечеткая логика, электропривод

Нечеткое управление в настоящее время является одной из перспективных интеллектуальных технологий [1]. Особые качества систем управления с нечеткой логикой, в частности, малая чувствительность к изменению параметров объекта управления позволяет создать высококачественные системы управления, что подтверждается многочисленными примерами в различных отраслях техники. В системах управления электроприводами, в которых объект управления характеризуется непостоянством параметров или является нелинейным звеном, применение средств нечеткой логики также актуально [2, 3, 4].

В работе рассматривается возможное построение одноконтурной системы управления скоростью «ШИП-МППТ» с нечетким логическим пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором. Отличительной особенностью рассматриваемой системы является изменение во времени момента инерции. Разработанный нечеткий логический регулятор имеет две нормированные входные переменные и одну выходную. Логические операции выполняются над треугольными логическими подмножествами. База правил содержит 25 логических правил. Нечеткий логический вывод выполняется методом Мамдани [1]. Метод логической конъюнкции эквивалентен методу алгебраического произведения. Метод логической дизъюнкции эквивалентен методу алгебраического произведения. Дефаззификация производится методом взвешенной суммы [1]. Представлены результаты численного моделирования классического ПИ регулятора и нечеткого логического ПИ регулятора, а также расчеты критерия качества переходных процессов.

Анализ возможных вариантов реализации нечеткого логического регулятора позволяет сделать вывод [2, 3], что построение нечеткого логического регулятора возможно на базе однокристальных микроконтроллерах семейства MCS, AVR, а также на базе программируемых логических устройствах (ПЛУ).

Оценка результатов моделирования и расчет аппаратных затрат показывают преимущества систем, построенных на базе ПЛУ по сравнению с традиционными системами. Кодирование алгоритма работы выполнялось на языке VHDL. Удовлетворительные результаты получены при реализации нечеткого логического пропорционально-интегрального регулятора на базе однокристальных микро-