

- обеспечение гибкости в ценообразовании в соответствии со спросом и предложением;
- увязка ресурсов предприятия с внешними условиями;
- ориентация на достижение максимального результата предпринимательской деятельности

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ

Бохан Н.И.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Неудовлетворительная очистка деталей перед сборкой приводит к снижению послеремонтного ресурса двигателей самоходных машин на 20–30%, хотя в технологическом процессе ремонта двигателей очистка составляет 6–12% общей трудоемкости. Первостепенное влияние на эффективность процесса очистки оказывают три основных фактора или параметра: концентрация моющего раствора, слагаемая из содержания в моющей среде СМС (синтетических моющих средств), количество отмытых стабилизированных загрязнений и температура раствора.

В ряде выполненных и опубликованных ранее нами работ обоснованы три информативных параметра контроля и регулирования концентрации водных растворов СМС: оптический (оптическая плотность), удельная электропроводность и скорость распространения ультразвука в растворах.

При этом температура моющего раствора оказывает существенное влияние на каждый из этих параметров. В настоящее время в производственных условиях контроль качества моющих растворов (МР) осуществляется по их плотности и щелочности (рН) путем химического анализа, длительность которого составляет около 1,5 часа, результаты измерений не отличаются стабильностью из-за разной природы отмытых загрязнений. Масляные и механические загрязнения моющих растворов неоднородные по химическому составу, что практически не позволяет написать для них химические формулы и реакции взаимодействия с моющей средой.

Обобщая известные представления о химическом и структурном составе синтетических МР, их моющую способность можно охарактеризовать так называемой суммарной концентрацией $K_{\text{ср}}$, которую можно представить следующим математическим выражением:

$$K_{\text{ср}} = K_{\text{мс}} + K_{\text{з}}, \text{ г/л,}$$

где $K_{\text{мс}}$ и $K_{\text{з}}$ – концентрация, соответственно, СМС и загрязнений в г/л.

Схематично такое представление можно изобразить



Рис.1

Концентрация загрязнений K_z состоит из концентрации в растворе масляных (K_{zm}) и твердых (K_{zt}) загрязнений. Концентрация моющих средств в растворах состоит из концентрации щелочных ($K_{щ}$) и поверхностно-активных компонентов ($K_{пав}$) СМС. В сельскохозяйственных ремонтных предприятиях применяются в основном СМС в виде водных растворов концентрацией 10–30г/л, нагретых до температуры 65–100°С, которая в процессе мойки из-за ряда мешающих факторов подвержена значительным колебаниям.

Чистые моющие растворы представляют собой водную смесь поверхностно-активных веществ (ПАВ) и сильных щелочных электролитов, являющихся компонентами СМС. Они по своей структуре относятся к истинно-коллоидным системам.

Загрязненные растворы СМС отличаются от чистых наличием отмытых в процессе очистки ремонтируемых изделий частиц загрязнений, стабилизированных в объеме МР, и относятся к эмульсиям типа масло-вода, которые образуются в результате стабилизации гидрофобных жидких загрязнений, и к суспензиям-взвесям нерастворимых в МР твердых частиц, которые образуются в результате пептизации гидрофобных твердых загрязнений. Суммарная концентрация таких загрязнений в растворах СМС достигает 60 г/л и более.

Эмульсии, образованные различными по химическому составу нефтепродуктами, входящими в состав загрязнений сельскохозяйственной техники, рассматриваются как масляная фаза раствора или масляные загрязнения, которые содержат как органические загрязнения, так и мельчайшие частицы почвы, саж, минеральных, металлических и других примесей. Они рассматриваются как твердые (механические) загрязнения, размеры большинства которых составляют 2,5–25мкм.

Адсорбция активных компонентов СМС частицами загрязнений вызывает истощение моющих средств в растворе, т.е. адсорбированные химические компоненты моющих средств выбывают из участия в процессе моющего

действия. Они трудно отделимы от частиц загрязнений, поэтому в физико-химической структуре растворов их следует рассматривать как комплексные соединения, утратившие физико-химические свойства, которые были им присущи в чистых растворах.

По структурному составу загрязненные МР являются полидисперсными гетерогенными системами, включающими истинно-коллоидную дисперсионную среду – моющую жидкость и грубодисперсную среду – масляные и твердые загрязнения с адсорбированными на их поверхности молекулами (ионами) ПАВ и ионами щелочных электролитов.

Загрязненные МР как дисперсные системы относятся, как и чистые, к технологическим объектам автоматизации контроля и регулирования температуры и концентрации с сосредоточенными параметрами, поскольку частицы загрязнений равномерно распределены в моющей среде.

Путем обобщения теоретических представлений о физико-химии моющего действия, химическом и структурном составе растворов СМС установлено, что определяющими факторами их состояния как объектов автоматизации является температура раствора t ($^{\circ}\text{C}$), концентрация СМС $K_{\text{мс}}$ (г/л) и концентрация загрязнений K_z (г/л) (рис. 1).

На основании проведенных исследований обоснован технически возможный способ и устройства, которые позволяют в условиях ремонтного производства автоматически контролировать степень загрязнений моющих растворов и регулировать концентрацию СМС. С этой целью исследованы статические и динамические свойства серийных моечных машин как объектов автоматизации для обоснования законов регулирования температуры и концентрации МР. Наиболее эффективными параметрами контроля концентрации СМС является электропроводность, скорость распространения ультразвука в растворах и их оптическая плотность. Техническая реализация устройства контроля этих параметров может обеспечить контроль МР на ионно-молекулярном и дисперсном уровнях с достаточной точностью.

Исследование акустических характеристик производственных моющих растворов различной загрязненности в диапазоне частот 2,5...25 МГц, обеспечиваемом современной измерительной аппаратурой, показало, что в исследуемом диапазоне частот скорость распространения ультразвука в чистых растворах не зависит от частоты (длины волны) акустических колебаний. С увеличением концентрации отмытых загрязнений K_z в растворах и повышением частоты ультразвука, начиная с $f = 10$ МГц, наблюдается уменьшение скорости распространения ультразвуковых колебаний вследствие загрязненности моющей среды. Например, при $K_z = 21,6$ г/л и $f = 25$ МГц скорость ультразвука по сравнению с ее величиной на частотах 2,5-8 МГц уменьшается на 0,25%. Очевидно, что разработка методов акустического контроля и аппаратуры мо-

жет быть реализована по результатам исследований растворов на частотах $f > 25$ МГц. Современная измерительная аппаратура такой диапазон частот пока не обеспечивает. Тем более, что акустический способ контроля является не чувствительным по отношению к содержанию поверхностно активных веществ в мощней среде. Зависимость скорости ультразвука от содержания в растворах масляных и твердых загрязнений неоднозначна и нелинейна.

Поэтому для разработки систем автоматического контроля и регулирования состава моющих растворов нами был принят способ оценки растворов по удельной электропроводности и оптической плотности при стабилизации или компенсации температурной погрешности. Удельная электропроводность является более информативным параметром контроля концентрации СМС в моющих растворах по сравнению со скоростью ультразвука и в совокупности с их оптической плотностью позволяет однозначно решить задачу оптимального концентрационного контроля, в том числе и загрязненности МР, с учетом влияния температуры. Из изложенного следует, что кондуктометрические и оптические модели (были приведены в ранее опубликованных работах) позволяют наиболее рационально (при стабилизации или компенсации влияния температуры) осуществить двухпараметрический способ контроля концентрации МР. Используя эти модели можно проектировать аппаратуру контроля и регулирования.

Полученная оптико-кондуктометрическая модель контроля состояния растворов СМС:

$$K_{\text{ин}} = \frac{0,5}{b_{11}} \left[\begin{array}{l} b_1 - 21,053b_{12}D_{\text{вп}} + b_{11}t + \\ + \sqrt{(b_1 - 21,053b_{12}D_{\text{вп}} + b_{11}t)^2 - 4b_{11}(b_0 + 21,053b_{12}D_{\text{вп}} - b_{11}t + \chi_{\text{вп}})} \end{array} \right], (1)$$

$$K_{\text{т}} = 21,053D_{\text{вп}}, (2)$$

где b_i – индивидуальные коэффициенты для конкретного типа раствора, получаемые экспериментально, положены в основу разработки устройства контроля (КМР) и систем регулирования концентрации (САРК) и температуры (САРТ).

Базовая функциональная схема устройства КМР приведена на рис.2.

Принцип действия устройства основан на совокупности измерения и пропорциональном преобразовании электрической проводимости и оптической плотности (светопропускания) контролируемой среды в электрические сигналы, функционально связанные с концентрацией СМС, загрязнений в растворе и его температуры. Конструктивно устройство КМР состоит из трех измерительных блоков преобразователей-датчиков (электропроводности, оптического и температуры) и вторичного электронного блока. Для реализации

оптико-кондуктометрической модели в устройстве КМР были разработаны достаточно чувствительные, надежные и простые по конструкции измерительные преобразователи (погружные и проточные) с использованием не дорогостоящих материалов и комплектующих элементов оптоэлектронной техники.

Кондуктометрический канал состоит из генератора 1 синусоидальных колебаний частотой 2 кГц (для предотвращения гидролиза) с усилителем мощности 2, датчика электропроводности 3, измерительного усилителя 4 и функциональных блоков 5,9...16, 22, 23, 26...41. Блок 9 вырабатывает сигналы U_{13} , пропорциональные индивидуальным величинам $(b_{13}t)_1$, характеризующим тип СМС, блок 11 – сигналы U_3 , пропорциональные величинам $(b_3t)_1$. Блок 13 формирует сигналы U_1 , пропорциональные коэффициентам $(b_1)_1$ и $(b_0)_1$, блок 22 – сигналы U_{12} , пропорциональные величинам $(21,053 b_{12}D_{\text{мр}})_1$, блок 23 – сигналы U_2 , пропорциональные величинам $(21,053 b_2 D_{\text{мр}})_1$, блок 29 вырабатывает сигналы U_{11} , пропорциональные величинам $(4b_{11}a_3)_1$, где $a_3 = b_0 + 21,053b_2D_{\text{мр}} - b_3t + \chi_{\text{мр}}$; блок 35 – сигналы U_{11} , пропорциональные величинам

$$\left[0,5 / b_{11} (a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4b_{11}a_3}) \right],$$

где $a_1 = b_1 - 21,053b_{12}D_{\text{мр}} + b_{13}t$.

Переключатели 10,12,14,15,26,27,30,36 служат для выбора типа СМС. Блок 39 представляет собой аналого-цифровой преобразователь.

В оптический канал входит 17, термопреобразователь (термистор) R_0 светочувствительного элемента и функциональные блоки 18...21,24,25.

Блок 18 формирует сигнал U_2' , пропорциональный величине $21,053 \tau_{\text{мр}}$, где $\tau_{\text{мр}} = 10^{-12\text{мр}}$ – светопропускание моющих растворов, блок 21 – сигнал U_2'' , пропорциональный величине $21,053D_{\text{мр}}$.

Блок 19 вырабатывает сигнал $U_{\text{от}}$, пропорциональный отклонению температуры светочувствительного элемента относительно 40°C, которая обеспечивается конструкцией оптического датчика с целью термостабилизации фототока на указанном уровне температуры.

Канал измерения температуры включает термопреобразователь R_k моющего раствора и функциональные блоки 6–8.

Описанное (базовое) устройство позволяет осуществить контроль концентрации СМС с погрешностью 3% (относительно химанализа) и ее регулирование, контроль загрязненности раствора с погрешностью $\pm 0,5\%$ и контроль температуры раствора с погрешностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Исключение отдельных блоков по базовой схеме в зависимости от назначения дает возможность получить ряд более простых по конструкции устройств КМР, реализованных в наших разработках.

С целью выбора оптимального закона регулирования параметров моющих растворов экспериментально определены основные динамические характеристики моечных машин (струйных) как объектов автоматического управления: время разгона T_p , постоянная времени T , время чистого запаздывания τ и коэффициент передачи K (в относительных единицах).

Анализ полученных характеристик и передаточных функций показывает, что струйные моечные машины как объекты автоматического регулирования концентрации и температуры МР являются двухъёмкостными линейными статическими объектами (с самовыравниванием). Из критерия $0,2 > \tau/T < 1$ следует, что для регулирования и концентрации растворов СМС наиболее эффективным является регулятор непрерывного действия. В соответствии с разработанными алгоритмами функционирования и управления состоянием МР разработаны системы регулирования концентрации (САРК) и температуры (САРТ).

Анализ динамических свойств моечных машин показал, что реализованная в них двухпозиционная САРТ не является оптимальной, так как амплитуда автоколебаний температуры по экспериментальным данным относительно заданной ее величины составляет порядка 15°C . Такая температурная динамика неудовлетворительно влияет на качество очистки ремонтируемой техники. Поэтому как для САРК, так и для САРТ по критерию τ/T был выбран непрерывный закон регулирования параметров состояния. Расчет же по эмпирическим данным динамических коэффициентов регулирования (d) для САРК и САРТ и их анализ показал, что наилучшим законом регулирования состояния МР является пропорционально-интегральный (ПИ) закон. На рис.3 приведены структурные схемы САРК и САРТ, реализующие этот закон.

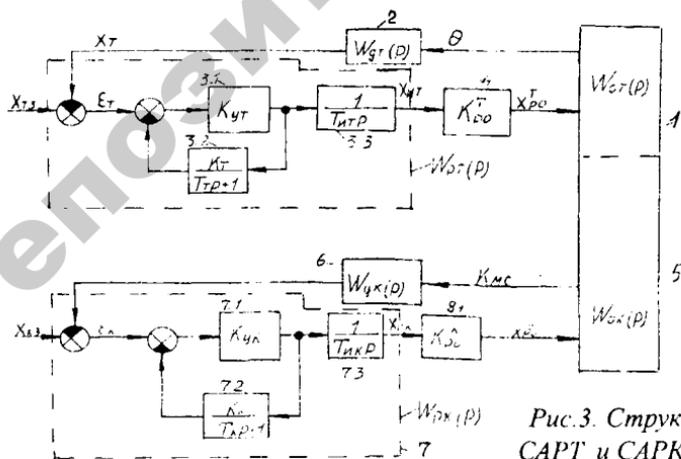


Рис.3. Структурная схема САРТ и САРК для струйных моечных машин.

В качестве ПИ-регулятора для САРТ использован промышленный регулирующий прибор типа Р25 с термометром сопротивления ТСМ-148. САРК реализована на основе устройства КМР. По результатам экспериментальных и теоретических исследований определены динамические характеристики и показатели качества САРТ и САРК, а также их оптимальные параметры настройки: коэффициенты передачи регулятора $K_{рп}$, $K_{рк}$ и время издрома T_{τ} и $T_{к}$.

Анализ работы систем САРК и САРТ в производственных условиях показал, что время регулирования составляет $t_p = 0,3-2,3$ часа против $t_p = 4$ часа установленного технологического допуска на периодичность контроля; пере-регулирование составляет (17,5–19,3)% против критического $h_{кр} = 30\%$, запас устойчивости и по амплитуде составляет не менее 0,5, а по фазе – не менее 56 градусов, а ошибка регулирования в установившемся режиме равна нулю.