

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ АКТИВНОЙ АДАПТАЦИИ ПИ-РЕГУЛЯТОРОВ И НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ (СКВ) МОРСКИХ СУДОВ

Харченко Р.Ю.

Одесская национальная морская академия

Рассматриваются возможности применения различных вариантов адаптации математического аппарата в АСУ СКВ морских судов с ПИ и ПИД-регулированием. Проанализированы и смоделированы на ЭВМ как модели традиционных теорий, так и модели с применением альтернативного направления – теории нечеткой логики. Результаты проведенной работы показали перспективность рассмотрения нечеткого подхода в условиях неопределенности при разработке интеллектуальных систем управления.

Ключевые слова: активная адаптация, климат-контроль, ПИ-регулятор, каскадная САР, нечеткая САР, фаззи-контроллер.

Вступление. В жилых, общественных и грузовых помещениях морских судов, оснащенных системами кондиционирования воздуха (СКВ), должны обеспечиваться расчетные условия микроклимата в соответствии с нормами, существенно отличающимися во всех морских государствах. Составляют результирующую температуру отдельные компоненты микроклимата – относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, показатель, характеризующий среднюю радиационную температуру (алгебраическую разность между температурой воздуха помещений и средней радиационной температурой ограждений) и т.д. в зависимости от допустимых отклонений. В свою очередь эти компоненты зависят от других, например значение средней температуры ограждений нужно брать из расчетов теплоизоляции помещений. Свои математические модели существуют и для объемов подаваемого наружного воздуха и его рециркуляции [1].

Управление работой кондиционеров на судах производится с помощью приборов ручного и автоматического управления, контролирующих и регулирующих показания температуры и влажности внутреннего и наружного воздуха, передаваемого на ходовой мостик. В условиях рейса момент начала вентиляции определяют при контроле и сопоставлении температуры и влажности наружного и трюмного воздуха, температур груза и забортной воды.

Актуальность исследования. Несмотря на то, что СКВ – одни из первых судовых энергетических установок, которые были автоматизированы, до нашего времени возникают проблемы с быстродействием и точностью регулировки этих систем. Обслуживающий персонал (в основном старший механик) вынужден часто вручную корректировать систему автоматического регулирования (САР) СКВ, а люди в обслуживаемых помещениях претерпевать временные неудобства и даже риск заболеть из-за перепадов температур. До сих пор некоторые ученые ставят под вопрос не только адекватность работы САР СКВ для некоторых применений, но и анализируют возможность автоматического управления СКВ судов в целом [1].

Задача усложнена тем, что СКВ судна, как объект управления, подвержена воздействию многочисленных возмущений нелинейно изменяющихся во времени: температура забортной воды, солнечная активность, скорость и температура воздушных потоков, меняющиеся температурные условия внутри помещений и т.д. Кроме того, в последнее время существенно возрастают требования к системам микроклимата на судах для повышения производительности труда моряков, т.к. на фоне ухудшающихся экологических параметров окружающей среды в целом, вредных производств вблизи районов плавания, аварийной опасности, вредных перевозимых грузов, вирусной и

микробиологической опасности и т.п. качество воздушной среды в помещениях, контроль его состава и быстрые меры по нормализации выходят на первый план. Компьютеризация и оснащение судов дорогостоящими приборами, точная и безотказная работа которых возможна только при определенных температуре и влажности воздуха, строгие параметры для многих перевозимых грузов также сильно усложняют задачи САР СКВ. В наше время понятие автоматизации СКВ судов стало подразумевать в себе не только контроль сразу нескольких параметров воздуха, а намного больший реестр компонентов для математических моделей и поэтому более правильно говорить о системе климатического контроля СКК. Актуальность задач обеспечения более высоких показателей быстродействия, качества, энергоемкости и надежности САР СКК судов очевидна. Они в свою очередь сводятся к правильному выбору регулятора и режима его работы.

Целью статьи является проведения анализа методов адаптации традиционных и нечетких регуляторов для САР СКВ морских судов, нахождение оптимального режима и как итог выработка рекомендаций для разработчиков данных систем.

Анализ состояния проблемы. В настоящее время большинство традиционных регуляторов (П, ПИ, ПИД) при проведении пуско-наладочных или режимных работ приходится донастраивать вручную. Именно такие регуляторы используются в основном на большинстве судовых СКВ. И хотя на современных судах, оснащенных компьютерными системами управления, процедура адаптации сводится к переустановке программного обеспечения с новыми параметрами алгоритма управления, ее все же требуется выполнить вручную, что связано с затратами времени и дополнительной работой для обслуживающего персонала. Кроме этого разработчик программного обеспечения для такой системы, как правило, пользуется моделями настройки регуляторов по реакции системы на ступенчатое воздействие, осуществляемое регулирующим органом, т.е. по переходной характеристике системы. Фиксируя вид этой характеристики, при некоторой начальной настройке и имея из опыта определенное представление о характере влияния параметров регулятора на вид этой характеристики, эксперты – наладчики производят соответствующую корректировку параметров настройки регулятора. Затем опыт повторяют и производят анализ новой характеристики. Настройки оптимизируют до тех пор, пока переходный процесс регулирования не станет удовлетворительным. Данный подход является наиболее распространенным и его модификациям посвящены многочисленные публикации и патенты [2].

Автором был проведен анализ адаптивного подхода. При наличии процесса автоматизированной адаптации, адаптивная настройка может выполняться в соответствии с классической структурной схемой, представленной на рис. 1.

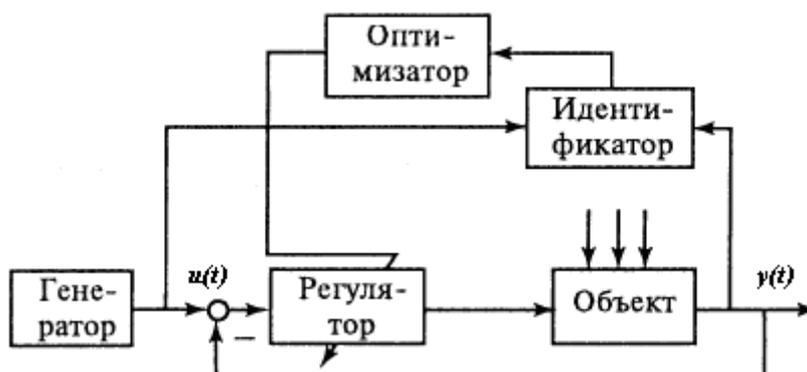


Рисунок 1 – Структурная схема системы активной адаптации в САР

Структура включает идентификатор анализирующий модель объекта, и оптимизатор, в котором производится расчет настройки регулятора на очередном шаге движения к оптимуму и соответствующая установка в регуляторе. Во время процедуры адаптации на вход регулятора от генератора подается ступенчатое внешнее

ідентифікуюче впливу в формі ступенчатої функції часу $u(t)$ і реєструється зміна регульованої величини. Реакція на це впливу (зміна во часі регульованої величини $y(t)$) буде з точністю до амплітуди входного впливу представляти собою відповідну перехідну характеристику замкнутої системи. З неї при відомому алгоритмі функціонування регулятора може бути отримана передаточна функція або комплексна частотна характеристика (КЧХ) об'єкта. Розраховуючи таку математичну модель об'єкта, можна провести розрахунок оптимальних параметрів налаштування ПІ або ПІД-регулятора. Слід зауважити, що оцінка перехідної характеристики замкнутого контуру в реальних умовах роботи систем регулювання зазвичай має відносно нестабільний характер, т.е. якщо експеримент повторити декілька разів, то будуть отримуватися сильно розбіжні результати, що впливає на адекватність моделі об'єкта. Однак, якщо характеристика має колибательний характер, то за нею можна оцінювати ступінь затухання колибаний і їх період. В зв'язі з цим був проведений аналіз методу адаптації, при якому динаміка контуру оцінювалася цими параметрами перехідної характеристики контуру, т.к. аналогічний підхід використовується во багатьох адаптивних мікроконтролерах різних компаній, спеціалізуються в області автоматизації [3].

Дослідження і доповнення математических моделей. Типичний вид експериментальної колибательної перехідної характеристики контуру представлено на рис. 2.

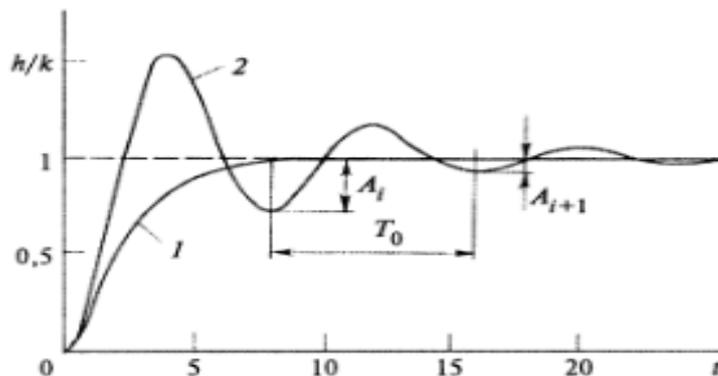


Рисунок 2 – Перехідний процес САР: 1 – крива розгона, 2 – колибательний процес регулювання

За характеристикою визначається період колибаний T і значення двох послідовно направлених в одну сторону амплітуд колибаний A_i, A_{i+1} . Це дозволяє вирахувати ступінь затухання $\Psi = (A_i - A_{i+1})/A_i$. Якщо передположити, що отриманий колибательний процес формується в основному парой найближчих до мнимой осі спряжено-комплексних домінуючих коренів характеристического уравнения системы, то може бути знайдено значення кореневого показателя колибательности m , $\Psi = 1 - e^{-2\pi m}$.

Умова існування перехідного процесу виражається залежністю для розширених КЧХ регулятора і моделі об'єкта:

$$W_{\text{мод}}(-m + j\omega) \cdot W_p(-m + j\omega) = -1. \quad (1)$$

Структурой передаточной функции модели объекта необходимо задаться. Выберем ее в виде $v(s) = 1/[(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_n s + 1)]$ для объектов с самовыравниванием или $v(s) = 1/[(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_n s + 1)s]$, для объектов без самовыравнивания, выделив коэффициент передачи, аналогично представим и передаточную функцию ПИ-регулятора

(применительно к этому регулятору будут конкретизированы все последующие выкладки):

$$\begin{aligned} W_{\text{мод}}(s) &= k_{\text{мод}}V(s)\exp(-\tau_{\text{мод}}s) \\ W_p(s) &= k_nR(s) \end{aligned}$$

где $k_{\text{мод}}, k_n, \tau_{\text{мод}}$ – коэффициенты передачи и время запаздывания; $V(s)$ — дробно-рациональная функция; $R(s) = 1 + 1/T_\xi s$

Тогда уравнение (2.1), переписанное следующим образом

$$\begin{aligned} k_{\text{мод}}k_n|V(-m + j\omega)||R(-m\omega + j\omega)|e^{m\omega} - 1 = 0 \\ T_{u.\text{онт}} = I_{\text{онт}}\tau_{\text{мод}}; k_{n.\text{онт}} = K_{\text{онт}}/(k_{\text{мод}}\tau_{\text{мод}}) \end{aligned}$$

или можно представить в виде двух уравнений для аргументов и модулей:

$$\begin{aligned} |V(-m\omega + j\omega)| - \tau_{\text{мод}}\omega + \arg|R(-m\omega + j\omega)| + \pi = 0 \\ k_{\text{мод}}k_n|V(-m + j\omega)||R(-m\omega + j\omega)|e^{m\omega} - 1 = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} |R(-m\omega + j\omega)| = A_p(\omega) = \frac{1}{T_u\omega(1 + m^2)}\sqrt{1 + [T_u\omega(1 + m^2) - m]^2} \\ \arg(R(-m\omega + j\omega)) = \varphi_p(m, j\omega) = \arctg\left(\frac{-1}{T_u\omega(1 + m^2) - m}\right) \end{aligned}$$

Первое уравнение не зависит от коэффициентов передачи. Таким образом, по полученным из эксперимента значениям m и ω путем решения первого уравнения находится запаздывание $\tau_{\text{мод}}$, после чего по второй формуле определяется значение коэффициента передачи модели. Очевидно, что численные значения параметров настраиваемой модели могут меняться в процессе движения к оптимуму настройки регулятора. Они перестают меняться и устанавливаются на некотором стабильном значении после окончания этой процедуры. Качество модели объекта зависит не только от того, насколько близка ее структура к структуре реального объекта, но и от того, насколько удачно выбран их критерий приближения. Также при получении модели объекта перед началом проектирования САР эта проблема уже возникала. В этом и состояло основное системное противоречие построения модели объекта. При адаптации уже включенной в работу системы это противоречие снимается применением процесса последовательного приближения к оптимуму [4]. В данном случае контролируется критерий оптимальности управления, в соответствии с которым осуществляется и выбор параметров настраиваемой модели объекта. После окончания процедуры настройки аппроксимация модели окажется выполненной оптимальным способом в области существенных для системы частот, поэтому структура настраиваемой модели может быть проще той структуры, которая требуется перед проектированием системы.

При настройке систем, объекты которых либо вообще лишены самовыравнивания, либо оно выражено относительно слабо, приемлемой настраиваемой моделью, которая имеет два коэффициента, является интегрирующее звено с запаздыванием [5]. Передаточная функция такой модели при равных нулю постоянных времени имеет вид:

$$W_{\text{мод}}(s) = \frac{k_{\text{мод}}}{s}\exp(-\tau_{\text{мод}}s) \quad (3)$$

В этом случае

$$V(s) = 1/s \text{ и } |V(-m\omega + j\omega)| = \frac{1}{\omega\sqrt{1+m^2}}; \arg -\tau_{\text{мод}}\omega + \arg |V(-m\omega + j\omega)| = \arctg(1/m) - \pi$$

После подстановки этих выражений в (2) получим:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{мод}} &= \frac{1}{\omega} (\arctg \frac{1}{m} + \varphi_p(m, \omega)) \\ k_{\text{мод}} &= \frac{\omega}{A_p(m, \omega)} \sqrt{1+m^2} \exp(-m\tau_{\text{мод}}\omega) \end{aligned} \quad (4)$$

Определение коэффициентов настраиваемой модели объекта позволяет обычным порядком найти оптимальные параметры настройки типового регулятора. Затем они устанавливаются в регуляторе, и производится повторный эксперимент по оценке переходной характеристики системы и определению из нее новых значений степени затухания и периода колебаний. Это позволяет уточнить оптимальные параметры настройки регулятора, произвести соответствующее их изменение в регуляторе и вновь вернуться к оценке параметров переходной характеристики (идентификации). Таким образом, образуется итерационная многошаговая процедура движения к оптимуму настройки, который будет достигнут тогда, когда последующий результат расчета оптимальной настройки не будет отличаться от предыдущего.

Расчет оптимальных параметров регулятора в процессе адаптации можно упростить, если перейти к безразмерным параметрам настройки, оптимальные значения которых можно рассчитать заранее. Так, передаточная функция разомкнутого контура системы с ПИ-регулятором и моделью объекта (3) может быть переходом к безразмерной переменной $s = \tau_{\text{мод}}\omega$:

$$W_{\text{мод}}(s) = \frac{k_{\text{мод}}}{s} \exp(-\tau_{\text{мод}}s) k_i (1 + \frac{1}{T_u s})$$

$$W(S) = K (1 + \frac{1}{IS}) \frac{1}{S} \exp(-S)$$

$$K = k_n k_{\text{мод}} \tau_{\text{мод}}; I = T_u / \tau_{\text{мод}}$$

Следовательно, задача сводится к определению оптимальных безразмерных параметров ПИ-регулятора (в котором роль постоянной интегрирования играет безразмерный коэффициент I , а роль коэффициента передачи – коэффициент K) для объекта с безразмерной передаточной функцией (интегральное звено с запаздыванием) вида:

$$W_{\text{мод}}(s) = \frac{1}{5s} \exp(-s) \quad (5)$$

Следует зафиксировать и безразмерную доминирующую частоту при оптимуме настройке:

$$\Omega_{\text{дом}} = \tau_{\text{мод}}\omega_{\text{дом}}$$

Расчет безразмерных параметров настройки регулятора по модели объекта с передаточной функцией (5) методом, изложенным в [5], приведен на рис. 3. Результат расчета для $m = 0,366$ (это значение корневого показателя колебательности будет принято во всех дальнейших примерах расчетов:

$I_{opt} = 2.84$; $K_{opt} = 3.34$; $\Omega = 0,79$. Таким образом, расчет оптимальных параметров настройки регулятора и ожидаемой частоты собственных колебаний на следующем шаге процедуры поиска можно выполнять по формулам:

$$T_{u,opt} = I_{opt} \tau_{mod}; k_{n,opt} = K_{opt} / (k_{mod} \tau_{mod}) \Omega_{dom} = \tau_{mod} \omega_{dom} \quad (6)$$

Mathcad-документ

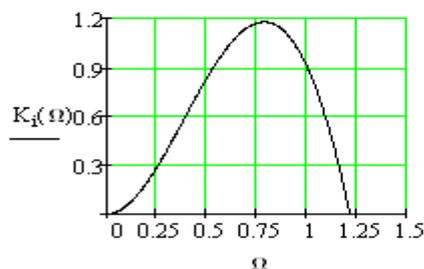
Расчет безразмерных параметров ПИ регулятора для настраиваемой модели объекта

Ввод корневого показателя колебательности, безразмерной передаточной функции модели объекта::

$$m := .366 \quad S(\Omega) := -m \cdot \Omega + \Omega \cdot j \quad W(\Omega) := \frac{e^{-S(\Omega)}}{S(\Omega)}$$

Ввод диапазона частот и числа точек: $\Omega_{end} := 1.5$ $n := 500$ $\Delta\Omega := \frac{\Omega_{end}}{n}$
 $\Omega := \Delta\Omega, 2 \cdot \Delta\Omega .. \Omega_{end}$

$$K_i(\Omega) := \frac{-\text{Im}\left(\frac{1}{W(\Omega)}\right)}{\text{Im}\left(\frac{1}{S(\Omega)}\right)}$$



Определение максимума $K_i(\Omega)$:

$$\Omega := .8 \quad \text{Given} \quad \Omega > .5 \quad \Omega < 1$$

$$\Omega_{dom} := \text{Maximize}(K_i, \Omega)$$

$$\Omega_{dom} = 0.788 \quad K_i(\Omega_{dom}) = 1.176$$

Оптимальные безразмерные параметры р-тора:

$$K_{opt} := \text{Re}\left(\frac{-1}{W(\Omega_{dom})}\right) - \text{Re}\left(\frac{K_i(\Omega_{dom})}{S(\Omega_{dom})}\right) \quad K_{opt} = 0.66 \quad I_{opt} := \frac{K_{opt}}{K_i(\Omega_{dom})} \quad I_{opt} = 2.838$$

Оптимальное отношение периода колебаний и постоянной интегрирования регулятора

$$E_{opt} := \frac{2 \cdot \pi}{\Omega_{dom} \cdot I_{opt}} \quad E_{opt} = 2.808$$

Рисунок 3 – Расчет оптимальных параметров ПИ-регулятора

При использовании представленного метода настройка регулятора начинается с того, что он включается в работу при параметрах настройки, заведомо гарантирующих устойчивую работу системы. Для ПИ-регулятора начальное значение постоянной времени интегрирования (T_u) выбирается достаточно большим, а начальное значение коэффициента передачи достаточно малым (можно начинать просто с нулевого значения). После этого путем постепенного увеличения коэффициента передачи следует добиться, чтобы в контуре системы возникли колебания с четко регистрируемой степенью затухания. В частности, можно добиться возникновения незатухающих колебаний. В этом случае значение $T_u \rightarrow \infty$ (когда регулятор принимает П-алгоритм функционирования) формулы для параметров настраиваемой модели объекта (4) принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \tau_{mod} &= \pi / (2\omega_{кр}); k_{mod} = \omega_{кр} / k_{p,кр} \\ T_{u,opt} &= I_{opt} \pi / (2\omega_{кр}); k_{n,opt} = 2K_{opt} k_{n,кр} / (\pi \omega_{кр}) \\ T_{u,opt} &= 0,71 T_{кр}; k_{p,opt} = 0,54 k_{n,кр} \end{aligned}$$

где $\omega_{кр}$, $K_{кр}$ – частота незатухаючих коливань и коэффициент передачи регулятора, при котором они возникли. После подстановки их в (6) и после перехода к периоду незатухаючих колебаний получим:

$$T_{u.opt} = 0,71T_{кр}; k_{p.opt} = 0,54k_{n.кр} \quad (7)$$

Также, если ограничиться одним шагом итерационной процедуры поиска, будет получен известный метод Циглера-Никольса [4], в котором рекомендуется определять оптимальные параметры по эмпирическим формулам:

$$T_{u.opt} = 0,83T_{кр}; k_{p.opt} = 0,45k_{n.кр} \quad (8)$$

Результаты компьютерного эксперимента. Проведя компьютерный эксперимент по анализу представленных методов с объектом (5) и используя выражения (6 - 8) в программе MatLab (Simulink) и определив $K_{кр} = 15.5$, $T_{кр} = 1$, получили следующие переходные процессы (рис. 4)

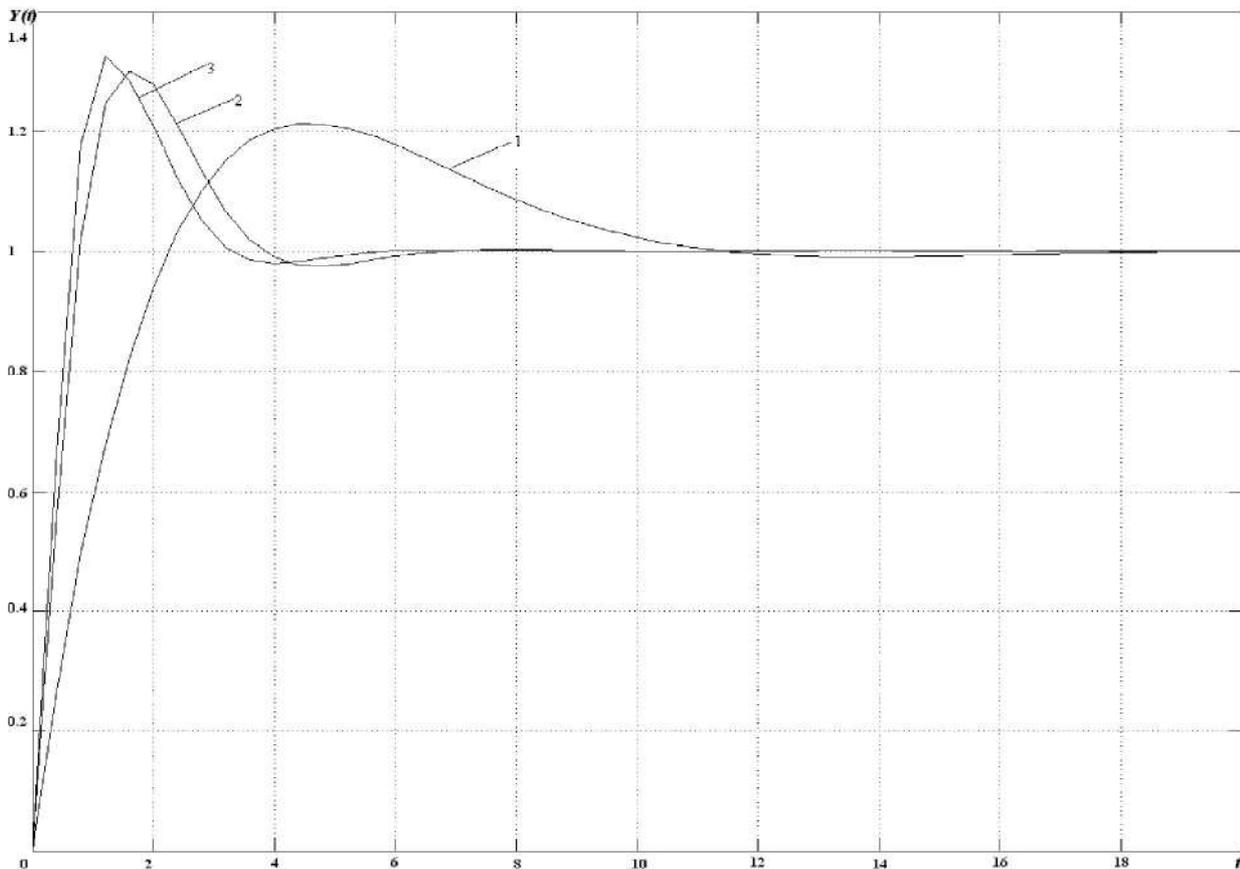


Рисунок 4 – Переходные процессы адаптивной САР по каналу задания: 1 – метод оптимальной настройки, 2 – метод Циглера-Николса, 3 – метод незатухающих колебаний

Анализ показателей качества переходных процессов (рис. 4) T_p , G_1 указывает на преимущество метода Циглера–Николса по сравнению с двумя другими типовыми методами адаптации [6].

Указанные методы адаптивной настройки являются наиболее распространенными, и широко используются в контроллерах российского типа «Ремиконт», «Протар», украинского «Микрол», немецкой компании «Сименс» и т.д, однако применять их, по мнению авторов, следует только с детерминированными объектами управления, т.к. они недостаточно эффективны для сложных многорежимных объектов со строгими условиями эксплуатации не допускающих автоколебательных режимов. Также если переходный процесс в ходе первоначальной настройки регулятора будет иметь аperiodический

характер т.е. степень затухания $\Psi=0$, и период колебаний $T=0$, с большим (недопустимым) временем регулирования, то методы окажутся непригодными для расчетов и адаптацию нельзя будет осуществить в автоматическом режиме без участия наладчика. Также, для объекта второго и большего порядка с малым запаздыванием, полученная с помощью методов адаптации постоянная интегрирования регулятора, окажется близкой к нулю и регулятор будет осуществлять П-закон с остаточной ошибкой. В этом случае можно рекомендовать изменение задания, но данное сигнальное воздействие может оказать негативное влияние на качество переходного процесса. Можно утверждать, что в процессе адаптации, при возникновении случайного глубокого возмущения, автоколебательный процесс может выйти за допустимый диапазон, что в свою очередь, может привести к аварийной ситуации и остановке всего технологического процесса.

Отметим что представленные методики предполагают то, что оптимальная настройка регулятора может считаться решенной и процесс последовательных приближений прекращен, если значения параметров настройки на очередном шаге окажутся близкими к их значениям на предыдущем шаге, но такой поиск может превысить допустимый временной диапазон. В последнее время начинают применяться автоматические системы каскадно-связанного регулирования, в которых для улучшения качества регулирования устраиваются дополнительные связи между каскадами (контурами). Однако, наряду с достоинствами, каскадные системы обладают и рядом недостатков. Одним из них является сложность настройки такой системы и отсутствием стандартных методик по расчету настроек для главного и вспомогательного ПИ-регуляторов. Также можно отметить, что при изменении значений параметров объекта выбранные настройки не удовлетворяют качеству переходного процесса и нуждаются в адаптации.

Таким образом, известные традиционные методы нуждаются в усовершенствовании и задача поиска оптимальных процессов адаптивного управления остается открытой. Поэтому автором предложен новый подход в автоматизации САР СКК судна – метод нечеткой адаптации. Доказано, что использование нечеткого (фаззи) управления производительностью компрессора холодильной установки СКВ позволяет добиться снижения энергопотребления и обеспечить поддержание комфортных параметров воздуха в кондиционируемых помещениях [7].

Исходя из вышеизложенного, предлагается использовать нечеткую систему регулирования с одним фаззи-контроллером и вводом в него информации по двум каналам: с выхода объекта и из промежуточной точки объекта. Такое управление является наиболее совершенным. Система с нечетким микропроцессором реализует оптимальное (программированное) управление по нечеткой модели и рационально использует все возможности системы [8]. Данные системы с высокой точностью поддерживают регулируемые параметры на заданном уровне.

Разработка нечеткой модели. При разработке нечеткой модели определены нечеткие множества ошибки $e(t)$, скорости ее изменения $e'(t)$ и управляющего воздействия $u(t)$; вышеуказанные нечеткие множества описаны с помощью лингвистического языка, где лингвистические переменные (ЛП) следующие: NB – негативно большое, NS – негативно среднее, NM – негативно малое, Z – нулевое, PS – положительно среднее, PM – положительно малое, PB – положительно большое [6]. Продукционная база правил вида: ЕСЛИ $e(t) = NS$ И $e'(t) = Z$ ТО $u(t) = NM$ представлена в виде табл. 1. Для апробации предложенной нечеткой каскадной системы управления СКК и проведения анализа эффективности её работы по сравнению с традиционной, состоящей из двух последовательно включенных ПИ-регуляторов, были проведены виртуальные эксперименты в среде Matlab (рис. 5). Объект 3-го порядка с запаздыванием в виде инерционных звеньев представляет собой модели двух калориферов, камеры орошения и вентилятора [7].

Таблиця 1 – База правил нечеткого контроллера

Ошибка $e(t)$	Производная от отклонения, $e'(t)$						
	NB	NS	NM	Z	PM	PS	PB
	<i>U(t)-управление</i>						
NB	NB	NB	NB	OS	Z	PM	PS
NS	NS	NS	NS	NM	PM	PM	PS
NM	NS	NM	NM	Z	Z	PM	PS
Z	NS	NM	NM	Z	PM	PM	PS
PM	NM	NM	Z	Z	PM	PM	PS
PS	NM	NM	Z	PM	PS	PS	PS
PB	NS	NM	Z	PS	PS	PB	PB

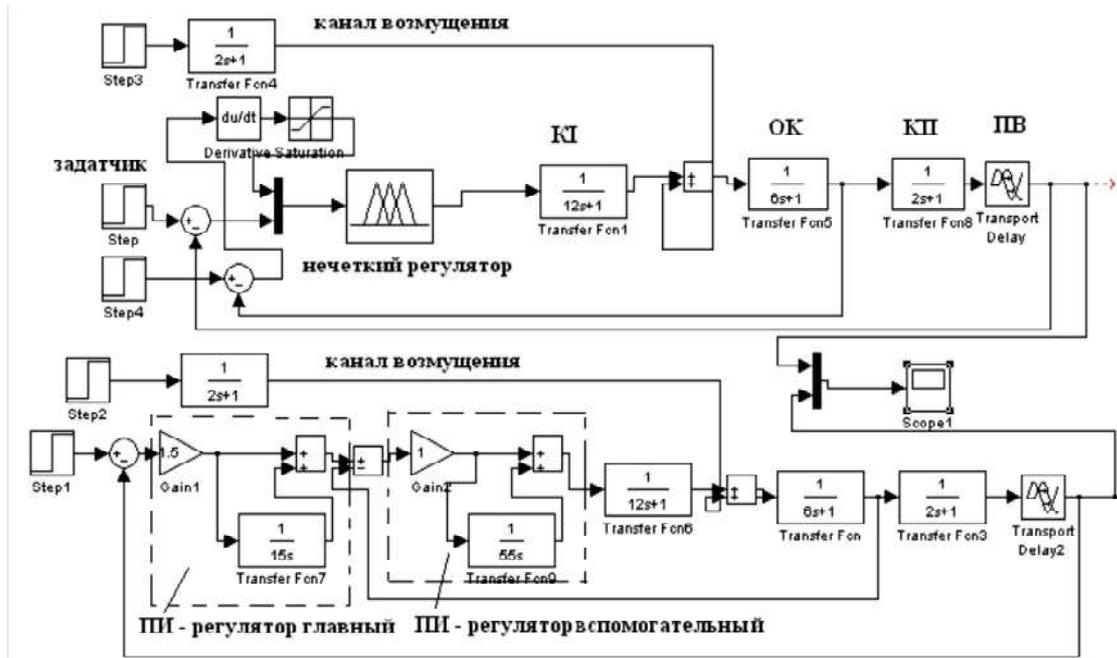


Рисунок 5 – Структурные схемы нечеткой и типовой каскадных САР СКК по каналу задания при действии канала возмущения

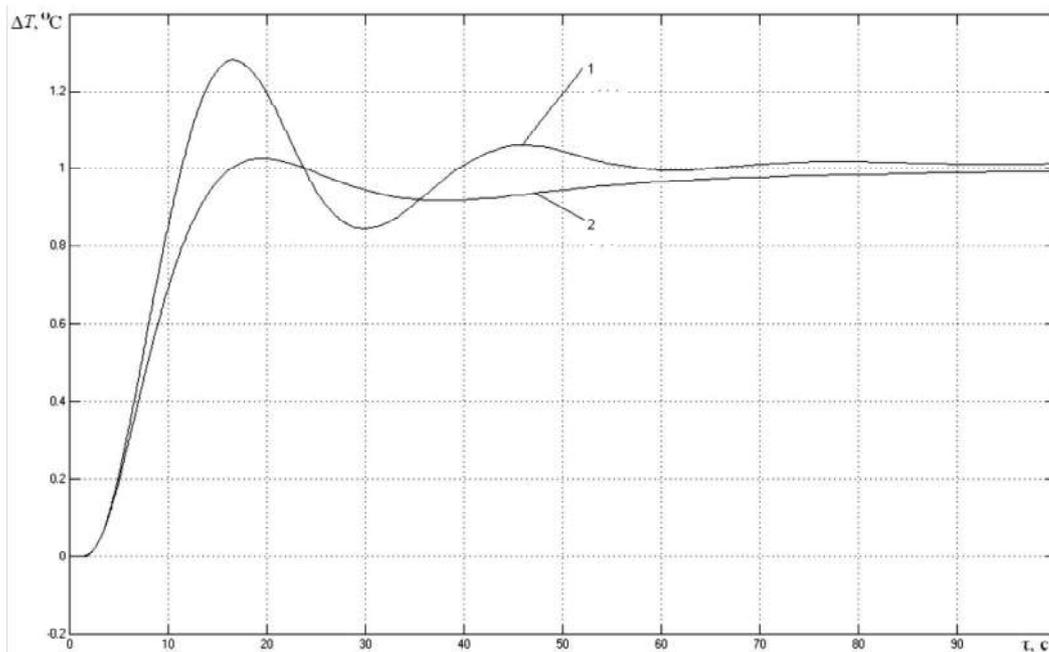


Рисунок 6 – Переходные процессы САР СКК: 1 – каскадная с ПИ-регуляторами; 2 – нечеткая адаптивная

Выводы. Переходные процессы с выхода объекта, полученные на осциллографе (рис. 6), демонстрируют преимущество фаззи-системы (апериодический процесс; $T_p=65$ с) (крив. 1) по сравнению с типовой САР ($\Delta T_1=0,3$; $T_p=75$ с) крив. 2. Таким образом, предложенная нечеткая система управления успешно поддерживает заданные параметры воздуха и может быть использована при управлении СКК морского судна.

В заключении, кратко систематизируя все вышеизложенное, можно отметить основные достоинства предложенного нового вида управления СКК морского судна по сравнению с традиционной адаптацией: простота настройки фаззи – регулятора (доступность для понимания обслуживающем персоналом), отсутствие необходимости в построении сложных математических моделей, отсутствие необходимости в специальных устройствах для адаптации (генераторах, пробных скачках и т.д), дешевизна оборудования, экономия электроэнергии за счет уменьшения времени регулирования T_p , а также высокая точность поддержания заданных параметров.

Перспективы дальнейшего исследования. В дальнейшей научной работе планируется усовершенствовать предложенную нечеткую систему регулирования путем разработки и использования новых алгоритмов, а также расширения функциональных возможностей системы (регулирование воздухообмена, влажности, химико-биологического состава воздуха и т.д.) и в результате разработать систему поддержки принятия решений (СППР). Также перспективным в данной области может быть применение интеллектуально-адаптивных САР на базе нейронных сетей (НС) и генетических алгоритмов и их совместного применения в виде гибридных сетей (ГС) [9]. Имеется ряд работ, показывающих что использование аппарата гибридных сетей, в которых выводы производятся на основе теории нечетких множеств, успешно позволяют провести идентификацию объектов даже функционирующих в условиях неопределенности [10].

В заключении можно отметить, что проведенный анализ методов интеллектуального управления применительно к СППР судна позволяет сделать вывод о перспективности использования нейро-нечеткой логики для повышения качества управления судовыми автоматизированными системами. Такие интеллектуальные системы обладают свойствами самообучаемости и способностью изменяться в зависимости от обстоятельств. Научная задача поиск новых, более эффективных методов адаптивного регулирования с использованием опыта эксперта САР остается открытой.

СПСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов С. Н. и др. Анализ возможности автоматического управления системой кондиционирования воздуха на морских судах // Вісник СевНТУ : зб. наук. пр. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь, 2011. – Вип. 119/2011.
2. Усков А. А. Принципы построения систем управления с нечеткой логикой / А. А. Усков // Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. – 2004. – № 6. – С. 7-13.
3. Ротач В. Я. Теория автоматического управления / В. Я. Ротач. – М. : МЭИ, 2008. – 396 с.
4. Ковриго Ю. М. Адаптивное управление теплоэнергетическими процессами / Ю. М. Ковриго, А. П. Мовчан //Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Харьков : ХНТУ, 2007. – № 2 (20). – С. 147–156.
5. Бондарь Е. С. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха : учебное пособие / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич ; Под общ.ред. Е. С. Бондаря – К. : ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2005. – 560 с.
6. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech / А. Ю. Леоненков. – СПб. : БХВ, 2003. – 720 с.

7. Харченко Р. Ю. Методи адаптивного регулювання в системі кліматического контролю судна / Р. Ю. Харченко // Автоматизация судовых технических средств : научно-технический сборник – Одесса : ОНМА, 2011. – Вып. 17. – 123 с.
8. Михайленко В. С. Синтез ПИ-регулятора с использованием метода модального управления / В. С. Михайленко // Автоматизация судовых технических средств : научно-технический сборник – Одесса : ОНМА, 2010. – Вып. 16. – 123 с.
9. Рутковская Д. М. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. М. Рутковская, М. В. Пилиньский, Л. М. Рутковский. – Горячая линия : Телеком, 2006. – 383 с.
10. Михайленко В. С. Застосування гібридних мереж в адаптивних системах управління теплоенергетичних об'єктів / В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – № 1. – С.1-9.

Харченко Р.Ю. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ АКТИВНОЇ АДАПТАЦІЇ ПИ-РЕГУЛЯТОРІВ І НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ (СКВ) МОРСЬКИХ СУДЕН

Розглядаються можливості застосування різних варіантів адаптації математичного апарату в АСУ СКВ морських суден з ПИ і ПИД-регулюванням. Проаналізовані та змодельовані на ЕОМ як моделі традиційних теорій, так і моделі із застосуванням альтернативного напрямку – теорії нечіткої логіки. Результати проведеної роботи показали перспективність розгляду нечіткого підходу в умовах невизначеності при розробці інтелектуальних систем управління.

Ключові слова: активна адаптація, клімат-контроль, ПИ-регулятор, каскадна САР, нечітка САР, фазі-контролер.

Kharchenko R.Yu. THE COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS ACTIVE ADAPTATION OF THE PI CONTROLLER AND FUZZY CONTROLLER FOR CONDITIONING AND VENTILATION SYSTEMS (CVS) SHIPS

The possibilities of different adaptation options the mathematical apparatus in ACS of CVS of the ships with PI and PID control. Have been analyzed and simulated by computer as a model of the traditional theories, and models using alternative direction - the theory of fuzzy logic. The results of this work have shown perspectivity considering fuzzy approach into conditions of uncertainty in the development of intelligent control systems.

Keywords: active adaptation, climate control, PI-control, the cascade ACS, the fuzzy ACS, fuzzy controller.