

*к.т.н. Коцемир И.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ С П – РЕГУЛЯТОРАМИ

Наведені методика, математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення процедури пошуку оптимальних параметрів автоматичних систем регулювання з пропорційними регуляторами.

***Ключові слова:** оптимальні параметри налаштування, критерії оптимальності, регулятор, показник коливального.*

Приведены методика, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение процедуры поиска оптимальных параметров автоматических систем регулирования с пропорциональными регуляторами.

***Ключевые слова:** оптимальные параметры настройки, критерии оптимальности, регулятор, показатель колебательности.*

Для увеличения экономичности и эффективности производства в промышленности для управления технологическими процессами широко используются автоматические системы регулирования с обратными отрицательными связями. Качество функционирования таких систем зависит в основном от выбора типа закона управления и от значений параметров настройки самого регулятора. К настоящему времени достаточно хорошо разработаны аналитические методы синтеза оптимальных регуляторов, позволяющие реализовать ту или иную оптимальную систему управления с учетом структуры конкретного объекта управления.

Однако большинство технологических объектов управления являются объектами с неполностью наблюдаемыми координатами, а это обстоятельство требует при создании оптимальных систем использования производных от регулируемой координаты высоких порядков, что в свою очередь делает невозможной практическую реализацию как оптимальных регуляторов, так и самих систем в целом.

По этой причине в промышленных системах в основном используются пропорциональные (П – регуляторы), пропорционально – интегральные (ПИ – регуляторы) и в некоторых случаях для управления объектами с большими запаздываниями ПИД – регуляторы.

В работах [1 - 3] сформулированы требования к таким системам, в соответствии с которыми система будет считаться оптимальной, если она обеспечивает отсутствие ошибки в статике и обеспечивает минимум среднеквадратичной ошибки в динамике при заданном запасе устойчивости.

Методика расчета ПИ и ПИД – регуляторов подробно разработана и доведена до инженерного использования в работах [1 – 4]. Для настройки П – регуляторов до настоящего времени в инженерных расчетах используется либо графоаналитический метод, либо рекуррентные формулы приближенного расчета, что приводит к необходимости перенастраивать такие системы на стадии их ввода в эксплуатацию.

В работе [4] приведено выражение вспомогательной функции, минимум которой позволил бы обеспечить минимум среднеквадратичной ошибки в системах с ПИ – регуляторами при заданном показателе колебательности M .

$$K_P = \frac{M}{A_{PC}(\omega) \left[M \sin \varphi_{PC}(\omega) - \sqrt{1 - M^2 \cos^2 \varphi_{PC}(\omega)} \right]}, \quad (1)$$

где $A_{PC}(\omega)$ и $\varphi_{PC}(\omega)$ - модуль и фаза разомкнутой системы при $K_P = 1$.

Как видно из выражения (1) и графика изменения вспомогательной функции представленного на рисунке 1 в области существенных частот указанная функция имеет отрицательные значения, а при увеличении частоты теряет физический смысл.

На рисунке 2 представлен общий вид амплитудно – частотных характеристик оптимально настроенных замкнутых систем на заданный показатель колебательности M .

В работах [1,5] показатель колебательности определяется из выражения

$$M = \frac{A_{3C}(\omega_P) - A_{3C}(\omega_0)}{A_{3C}(\omega_0)}, \quad (2)$$

где: $A_{3C}(\omega_P)$ и $A_{3C}(\omega_0)$ модули замкнутой системы на частоте резонанса и при $\omega = 0$.

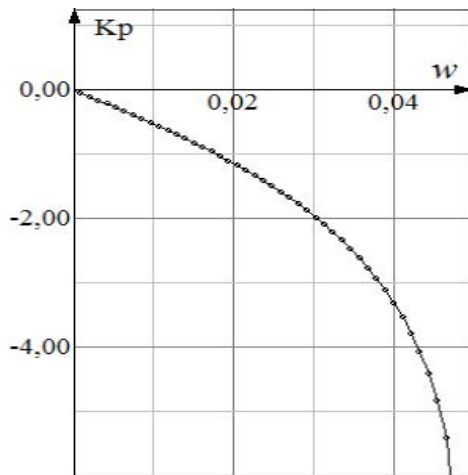


Рисунок 1 – График изменения вспомогательной функции

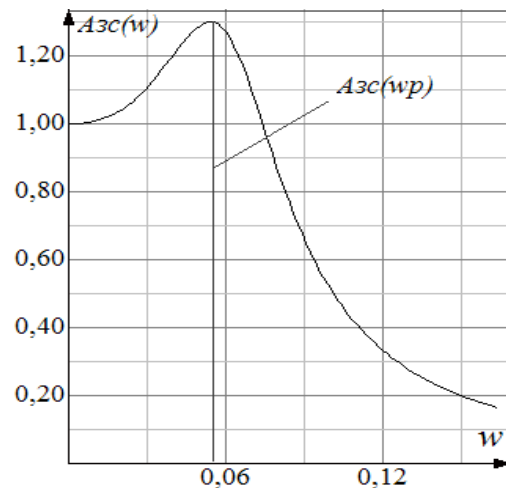


Рисунок 2 – АЧХ оптимально настроенной системы

Отсюда видно, что для оптимально настроенных систем с обратной отрицательной связью должно выполняться условие

$$A_{3C}(\omega_P) = M_{\text{ДОП}}. \quad (3)$$

Иными словами максимум АЧХ замкнутой системы должен достигаться на частоте резонанса и быть равным принятой величине показателя колебательности М.

Передаточная функция замкнутой системы с П - регулятором имеет вид

$$W_{3C}(P) = \frac{K_P W_{PC}(P)}{1 + K_P W_{PC}(P)}. \quad (4)$$

С учетом (1) выражение для определения величины модуля АЧХ замкнутой системы можно записать в следующем виде

$$A_{3C}(\omega) = \frac{K_P A_{OB}(\omega)}{\sqrt{[1 + A_{OB}(\omega) \cos \varphi_{OB}(\omega)]^2 + A_{OB}^2(\omega) \sin^2 \varphi_{OB}(\omega)}}. \quad (5)$$

Как видно из последнего выражения на величину модуля замкнутой системы и на вид амплитудно–частотной характеристики оказывают влияние, как динамические свойства объектов управления, так и коэффициент усиления регулятора. Поэтому для определения оптимального значения коэффициента усиления необходимо, вначале определить зна-

чение максимума АЧХ замкнутой системы на частоте резонанса при фиксированном значении коэффициента усиления регулятора K_p , а затем при необходимости скорректировать величину K_p с последующей проверкой выполнения условия (3). Блок– схема алгоритма поиска значений оптимальной настройки приведена на рисунке 3.

Передаточная функция объекта, для которого можно производить расчет параметров настройки регулятора с использованием приведенного алгоритма имеет вид

$$W_{OB}(P) = W_{OB1}(P) + W_{OB2}(P). \quad (6)$$

где:

$$W_{OB1}(P) = \frac{V_1(T_1P)(T_2P + 1)^O e^{-LP}}{T_3P(T_4P + 1)^B (T_5P + 1)^C},$$

$$W_{OB2}(P) = \frac{V_1(T_6P)(T_7P + 1)^{O_1} e^{-L_1P}}{T_8P(T_9P + 1)^{B_1} (T_{10}P + 1)^{C_1}}.$$

Для формирования передаточной функции конкретного объекта, например объекта с передаточной функцией

$$W_{об}(P) = \frac{K_{об} e^{-\tau P}}{(T_{1об}P)(T_{2об}P + 1)^n}, \quad (7)$$

с целью исключения лишних полиномов необходимо коэффициенты $T_1, T_2, T_4, T_5 - T_{10}, O, B, O_1, B_1, C_1, L_1, V_1$ передаточной функции (6) ввести равными нулю, а коэффициенты $T_3 = T_{1об}, T_5 = T_{2об}, V = K_{об}, L = \tau, B = n$.

Таким образом, передаточная функция (6) примет

$$W_{OB}(P) = \frac{Ve^{-LP}}{T_3P(T_5P + 1)^B}. \quad (8)$$

Что соответствует виду передаточной функции (7). Ввод параметров объекта и значения требуемого показателя колебательности осуществляется в блоке 1.

Поиск максимума АЧХ замкнутой системы при фиксированном значении коэффициента усиления регулятора производится в первом

цикле (блоки 3,4,5,10) с использованием метода последовательных приближений с делением шага по частоте.

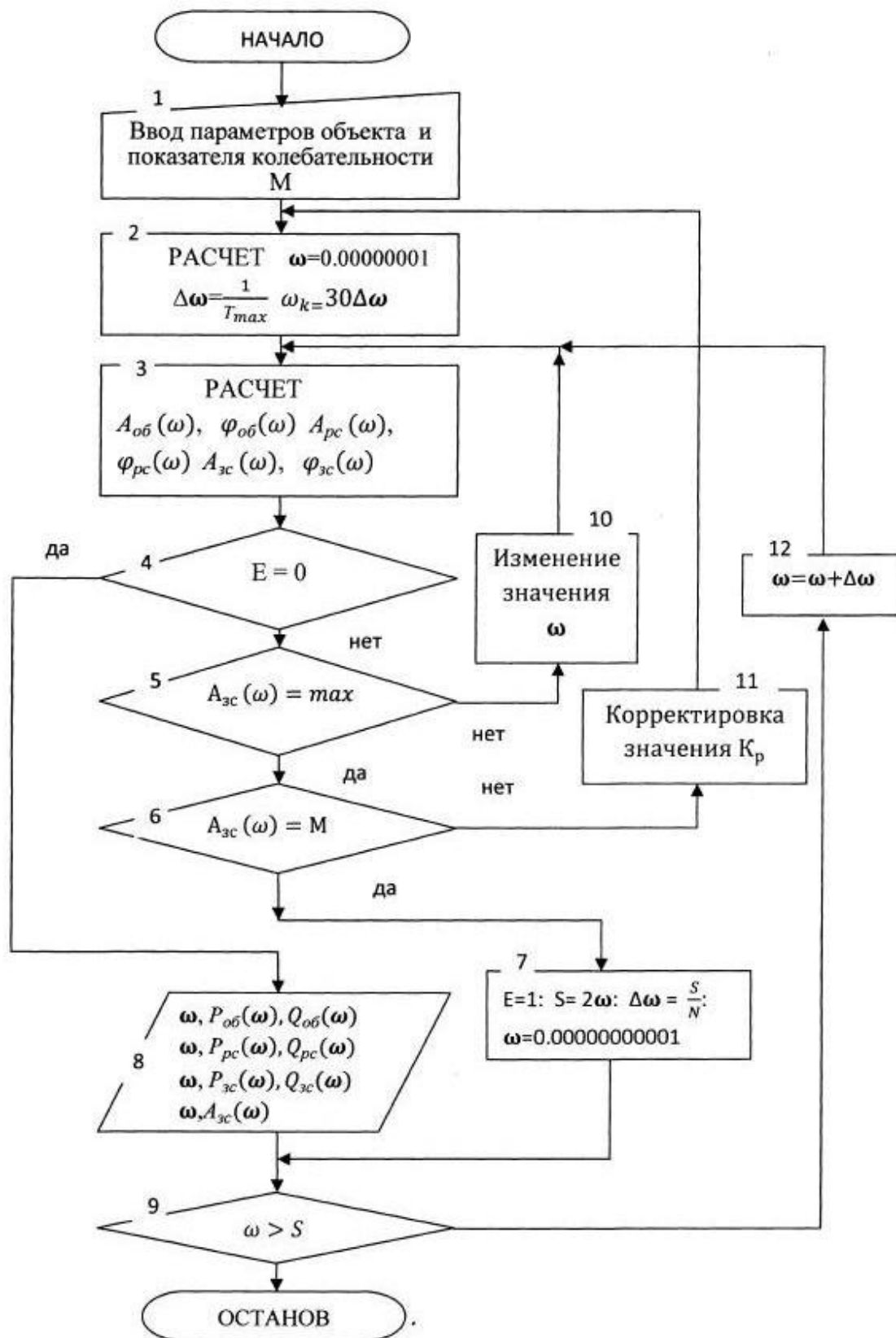


Рисунок 3 – Блок – схема алгоритма поиска оптимальных настроек

Выбор частотного диапазона, в котором осуществляется поиск максимума АЧХ замкнутой системы и выбор начального значения коэффициента усиления регулятора производится автоматически с учетом параметров объекта в блоке 2. Проверка достижения максимума АЧХ замкнутой системы при фиксированном значении коэффициента усиления регулятора осуществляется в блоке 5. Выбор направления движения к точке максимума функции, а также нового значения частоты осуществляется в блоке 10.

После нахождения максимума вспомогательной функции в блоке 6 осуществляется проверка оптимальности настройки системы с использованием условия (1). Если это условие не выполняется, то в блоке 11 с использованием метода последовательных приближений с делением шага осуществляется выбор направления движения к точке оптимума функции, а также растет нового значения коэффициента усиления регулятора. Процедура повторяется до тех пор, пока условие блока 6 не будет выполнено.

После нахождения оптимума осуществляется переход во внешний цикл (блоки 9, 12, 3, 4, 8), где производится расчет и построение частотных характеристик объекта, разомкнутой и замкнутой системы с оптимальными параметрами настройки регулятора в области существенных частот. Достижение оптимума фиксируется переменной E в блоке 7. В том же блоке с учетом значения величины резонансной частоты осуществляется расчет частотного диапазона и шага по частоте для построения частотных характеристик.

Общий вид окна пользователя, а также форма представления результатов расчета приведены на рисунках 4 – 7 и в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета частотных характеристик

ω	$A_{об}(\omega)$	$\varphi_{об}(\omega)$	$A_{об}(\omega)$	$\varphi_{об}(\omega)$	$A_{об}(\omega)$	$\varphi_{об}(\omega)$
1E-12	1E+10	-1.57	3.6E+15	1.57	1	0
4.98E-03	2.006	-1.66	7.23678	-1.66	1.003	-.138
9.96E-03	1.003	-1.76	3.61839	--1.76	1.016	-.279
1.49E-02	.66891	-1.86	2.41226	-1.86	1.037	-.423
1.99E-02	.50168	-1.96	1.80919	-1.96	1.066	-.575
2.49E-02	.40134	-2.06	1.44735	-2.06	1.104	-.735
$\omega = 4.983216E-02$		$Kp = 3.606248$				

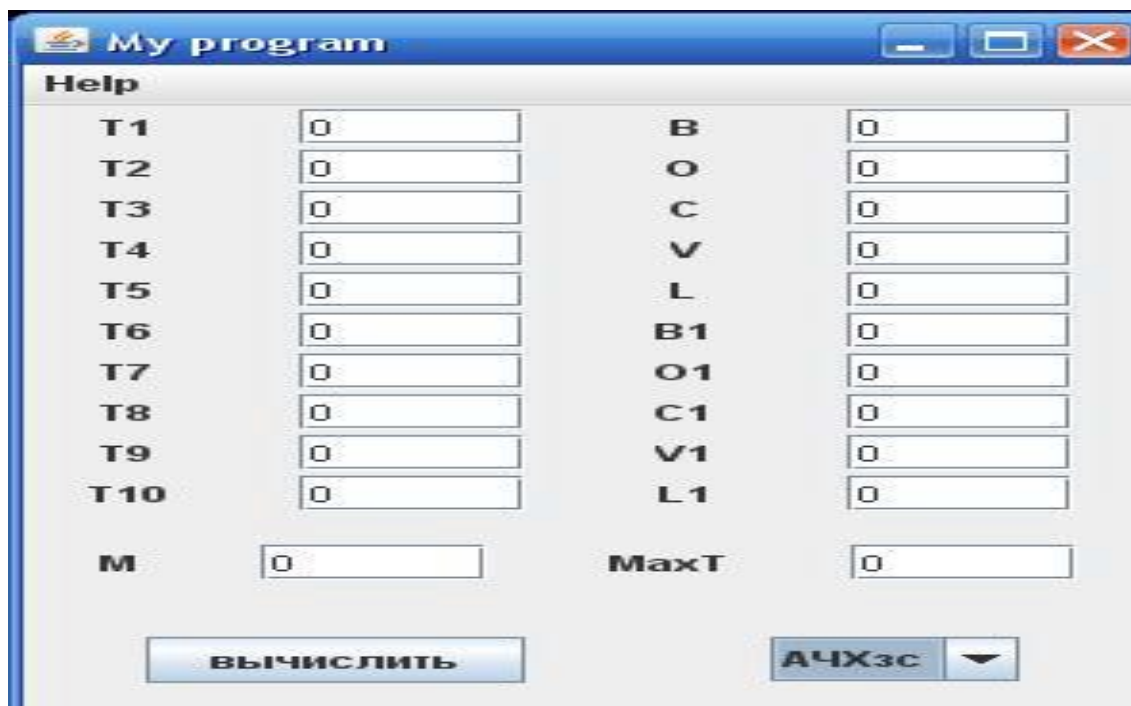


Рисунок 4 – Окно пользователя

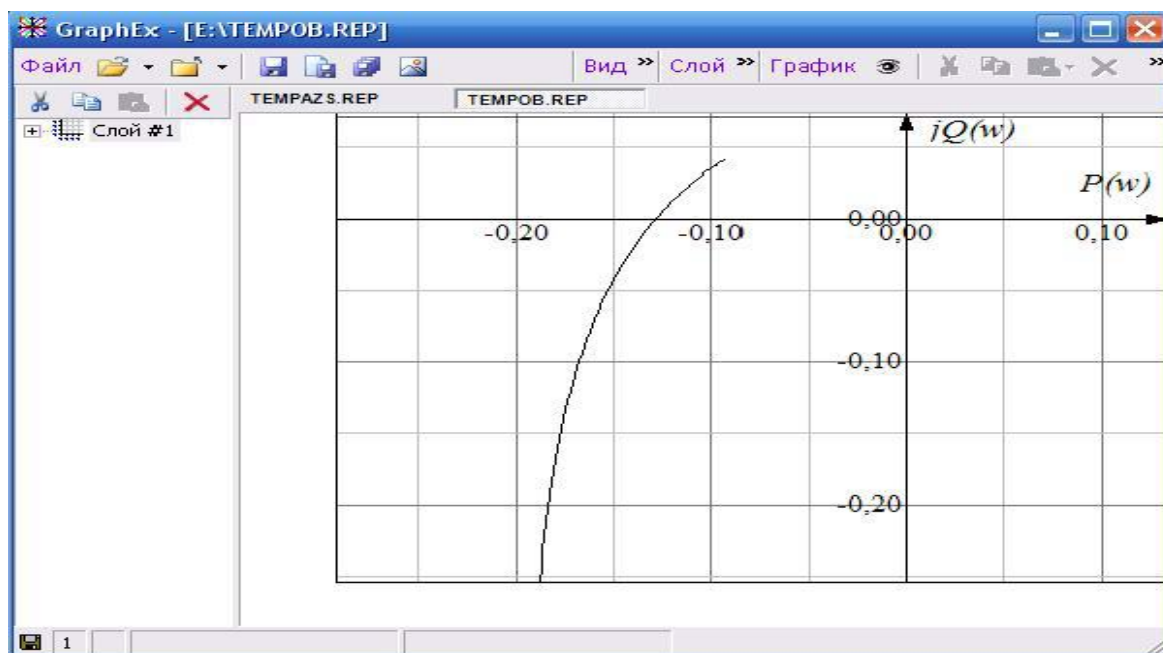


Рисунок 5 – Представление результатов в графическом редакторе GraphEx

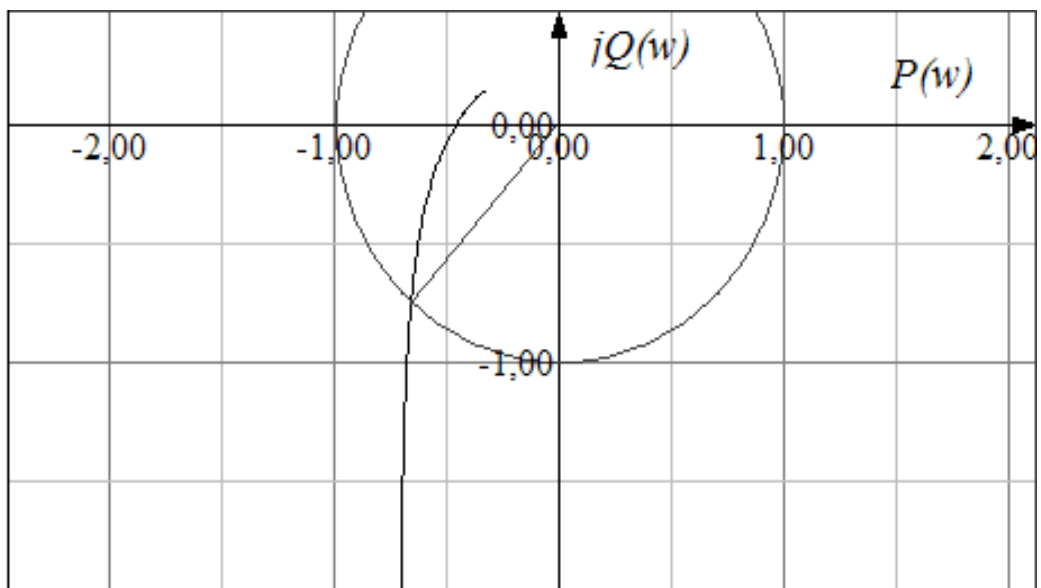


Рисунок 6 – Комплексная частотная характеристика разомкнутой системы

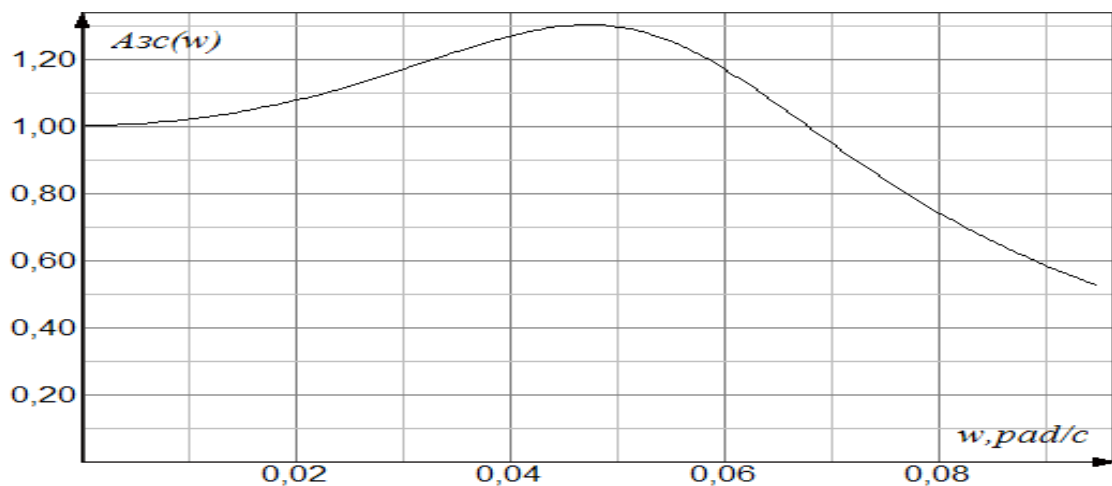


Рисунок 7 – Амплитудно-частотная характеристика замкнутой системы

Программное обеспечение с графическим редактором GraphEx адаптировано под операционную среду WindowsXP, что позволяет быстро и оперативно рассчитать значения параметров настройки, построить все необходимые частотные характеристики, и на основании графического материала провести оценку достоверности полученных резуль-

татов и качества функционирования замкнутой системы. Указанные возможности способствует использованию широким кругом специалистов на стадии проектных работ, на стадии ввода систем регулирования в действие, а также в период нормальной эксплуатации.

Библиографический список

1. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных систем регулирования. – М.: «Энергия», 1973 – 440с.
2. Ротач В.Я., Шавров А.В., Бутырев В.П. Синтез алгоритмов машинного расчета оптимальных параметров систем регулирования. – «Теплоэнергетика». 1978, №12.
3. Ротач В.Я., Кузицин В.Ф., Ключев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М: “Энергоатомиздат”, 1984. - 272 с.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 295с 3. Г. М Попович, О.В. Ковальчук Теорія автоматичного керування.-Київ: „Либідь”, 1997.-543с.
5. Коцемир И.А. К идентификации теплоэнергетических объектов (статья). Вестник МАНЭБ -2003 - № 5 (65). -С. 39-41

Рекомендовано к печати к.т.н., проф. Паэрандом Ю.Э.