**Лекция 6**

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В**

**СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

1. **Требования к управлению**

Что мы хотим от управления? Это зависит, прежде всего, от решаемой задачи. В задаче *стабилизации* наиболее важны свойства *установившегося* режима. Для *следящих* систем в первую очередь нужно обеспечить высокое качество переходных процессов при изменении задающего сигнала (*уставки*)*.*

В целом можно выделить четыре основных требования:

• **точность** – в установившемся режиме система должна поддерживать заданное значение

выхода системы, причем ошибка (разница между заданным и фактическим значением) не должна превышать допустимую;

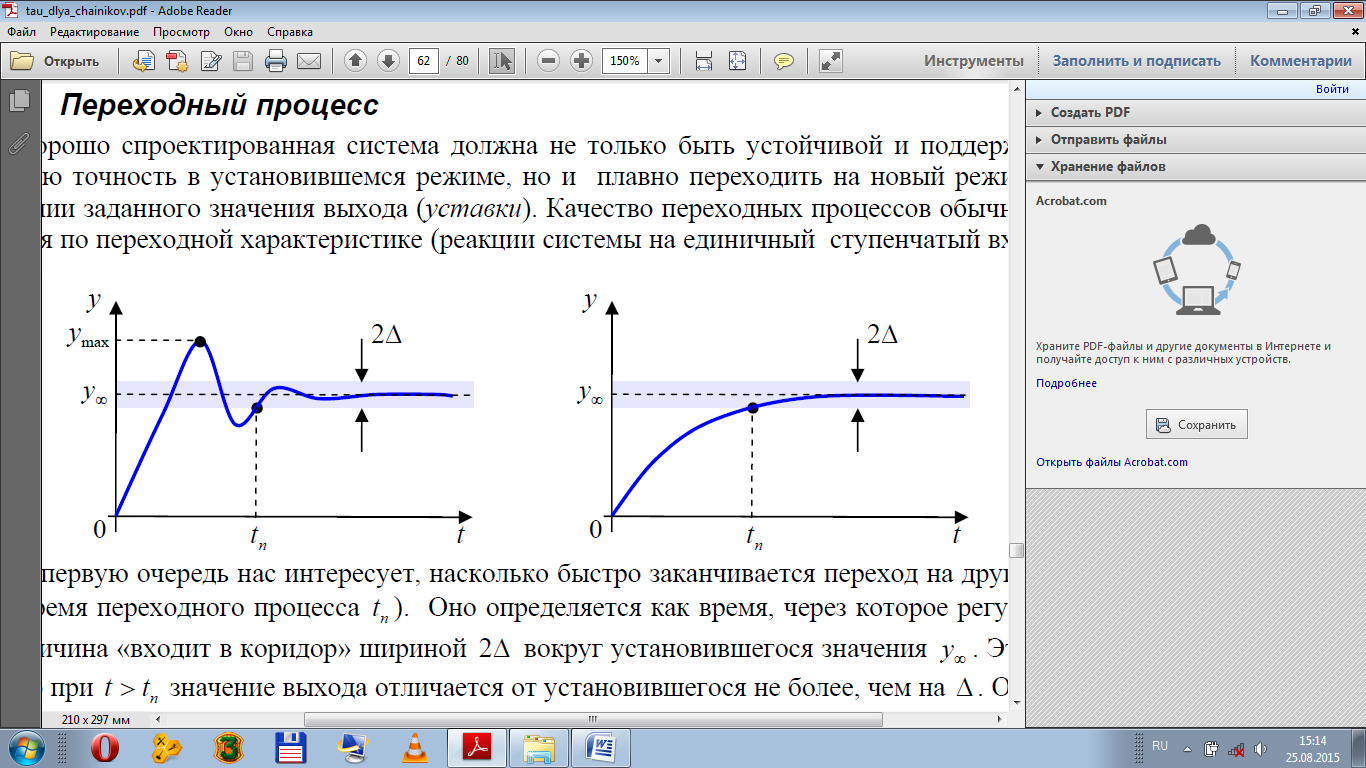
• **устойчивость** – система должна оставаться устойчивой на всех режимах, не должна идти «вразнос» (самолет не должен летать по кругу при смене курса);

• **качество переходных процессов** – при смене заданного значения система должна переходить в нужное состояние по возможности быстро и плавно;

• **робастность** – система должна сохранять устойчивость и приемлемое качество даже в том случае, если динамика объекта и свойства внешних возмущений немного отличаются от тех, что использовались при проектировании.

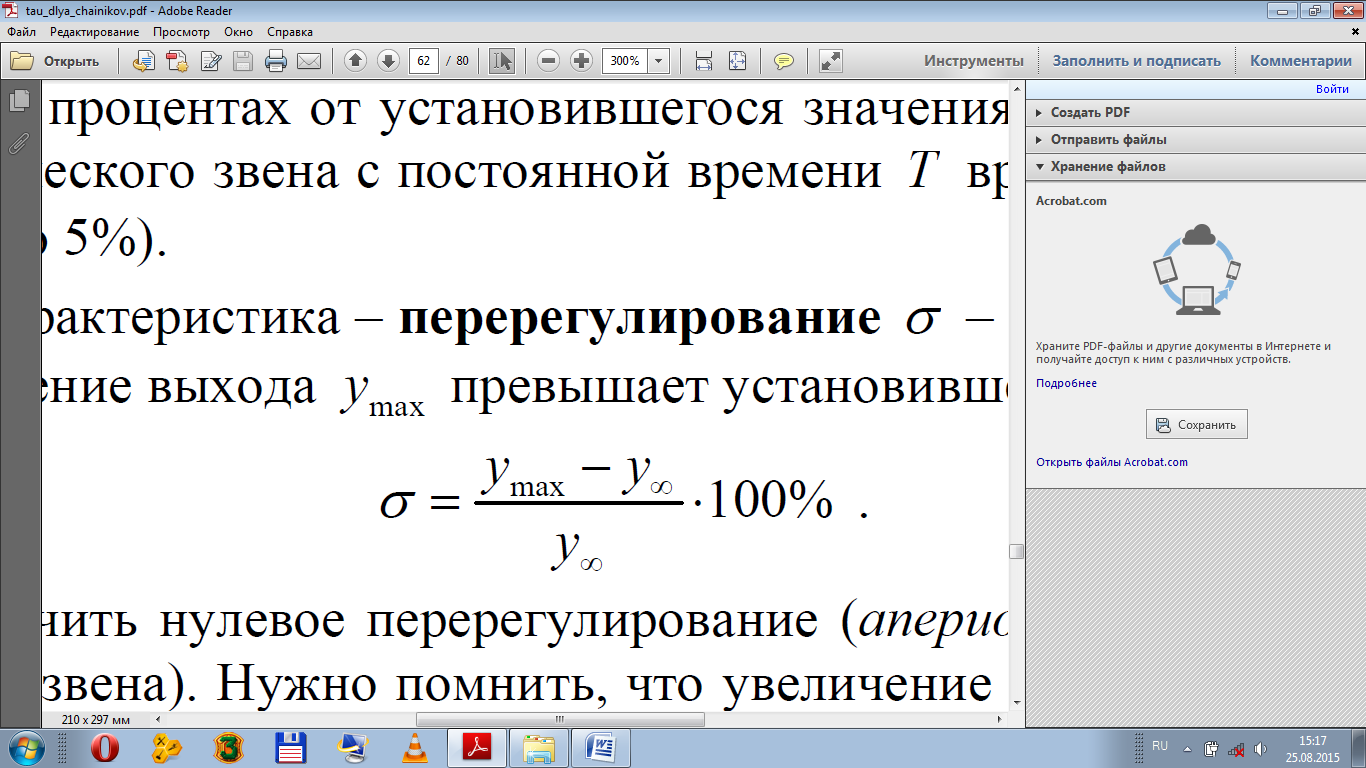
**Переходный процесс**

Хорошо спроектированная система должна не только быть устойчивой и поддерживать заданную точность в установившемся режиме, но и плавно переходить на новый режим при изменении заданного значения выхода (*уставки*). Качество переходных процессов обычно оценивается по переходной характеристике (реакции системы на единичный ступенчатый входной сигнал).

****

В первую очередь нас интересует, насколько быстро заканчивается переход на другой режим (**время переходного процесса *tп***). Оно определяется как время, через которое регулируемая величина «входит в коридор» шириной 2Δ вокруг установившегося значения *y*∞. Это значит, что при *t* > *tп* значение выхода отличается от установившегося не более, чем на Δ. Обычно величина Δ задается в процентах от установившегося значения, чаще всего 2% или 5%. Заметим, что для апериодического звена с постоянной времени *T* время переходного процесса равно *tп* = 3*T* (с точностью 5%).

Другая важная характеристика – **перерегулирование σ** – показывает, на сколько процентов максимальное значение выхода max *y* превышает установившееся значение *y*∞:

****

Иногда удается обеспечить нулевое перерегулирование (*апериодический* переходный процесс, как у апериодического звена). Нужно помнить, что увеличение быстродействия обычно приводит к увеличению перерегулирования.

2. **Основные показатели качества переходного процесса**

Обеспечение устойчивости систем автоматического управления - необходимое условие их работоспособности. Но для практической пригодности систем важно, чтобы переходные процессы в них, возникающие при отработке задающих воздействии, протекали плавно и с большой скоростью.

**Комплекс требований определяющих поведение автоматической системы (АС) в установившихся и переходных процессах объединяется понятием качества процессов управления.**

Показатели качества:

1. Установившаяся ошибка *ε уст* - характеризует точность АС в установившемся режиме.

2. Перерегулирование *σ%*.

3. Время регулирования *tР*.

4. Число колебаний за время регулирования *N*.

5. Частота колебаний *ω*.

Обычно показатели качества определяют по переходной характеристике системы *h(t),* представляющей собой реакцию системы на единичное ступенчатое воздействие *1(t)*.

1. **Установившейся ошибкой *ε уст= ε(∝)=1(t)-h(∝)* называется разность между входным воздействием и значением переходной функции в установившемся режиме**.

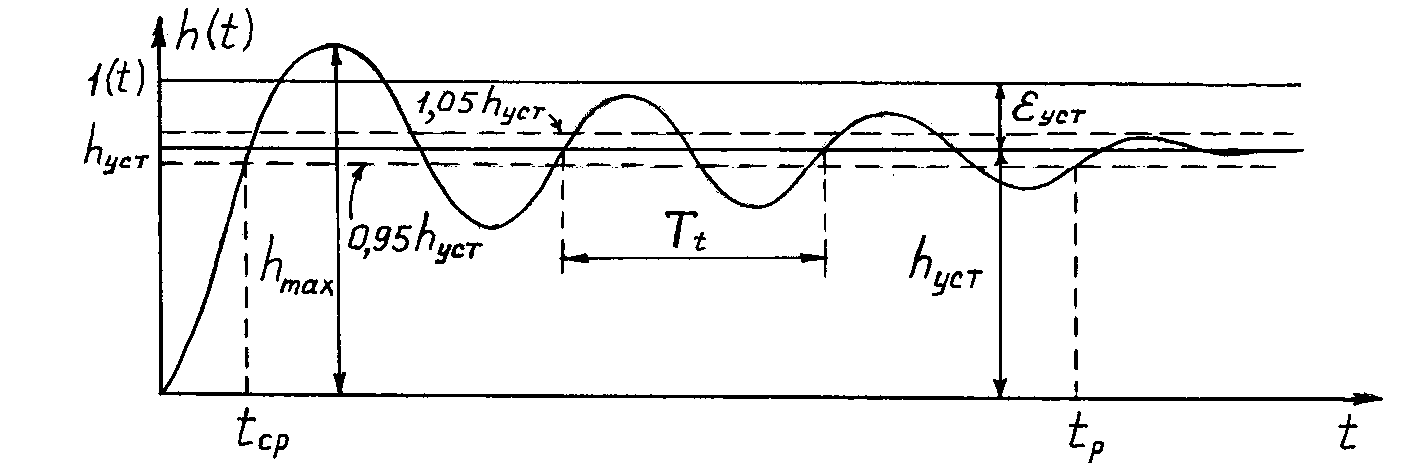


Рис. 1

2. **Перерегулированием *σ%* называется максимальное отклонение регулируемой величины от установившегося значения выраженное в процентах:**

 (3.20)

В большинстве случаев допускает перерегулирование в системах 10-30%.

3. **Временем регулирования *tр -* называется минимальное время, при котором *h(t)* будет отличаться от *hуст* на величину не большую *Δ,* т.е.**

**** (3.21)

Обычно *Δ* не превышает 3-5% от *hуст*. Время регулирования характеризует быстродействие системы.

4. **Число колебаний переходного процесса *n* за время регулирования (число реверсов регулируемой величины АС).** Этот показатель определяет скорость и ускорение регулируемой величины. На практике допускают 

5. **Частота колебаний процесса определяется как**

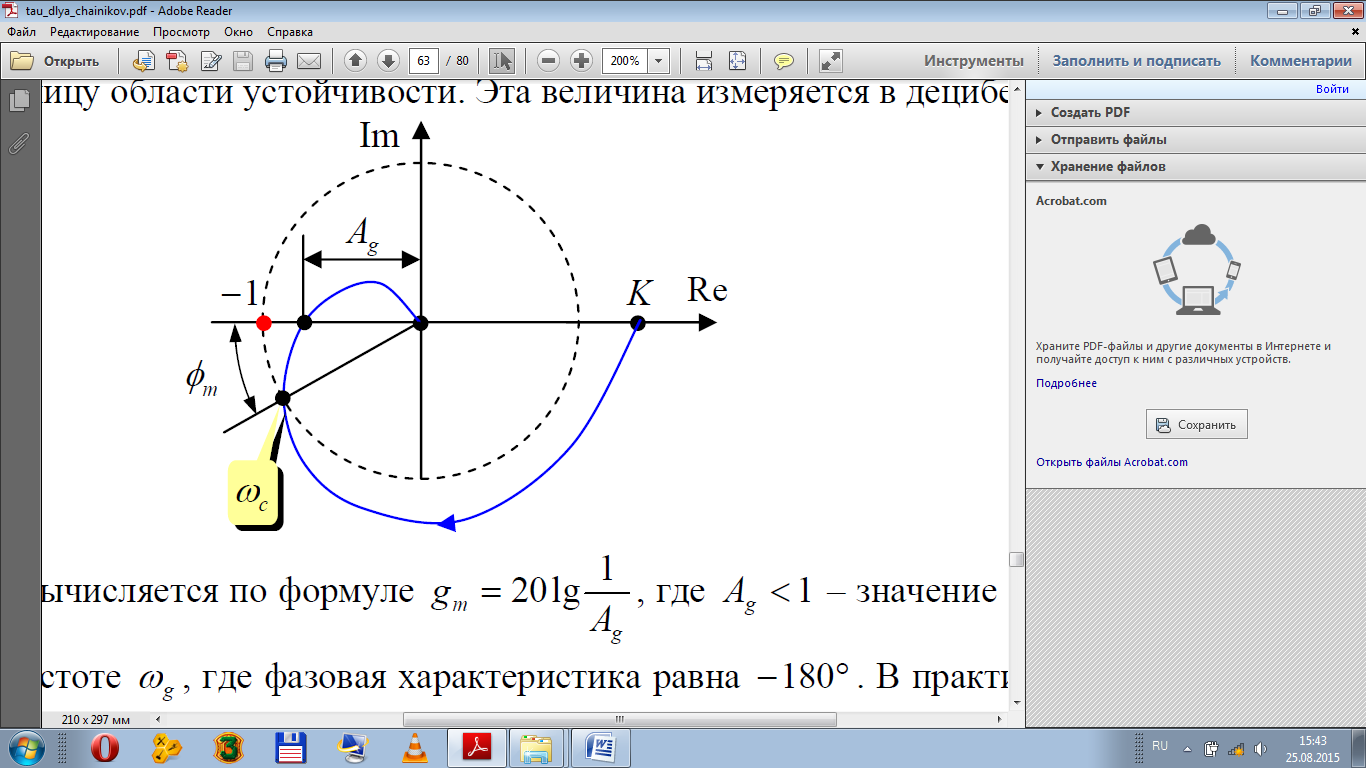
****

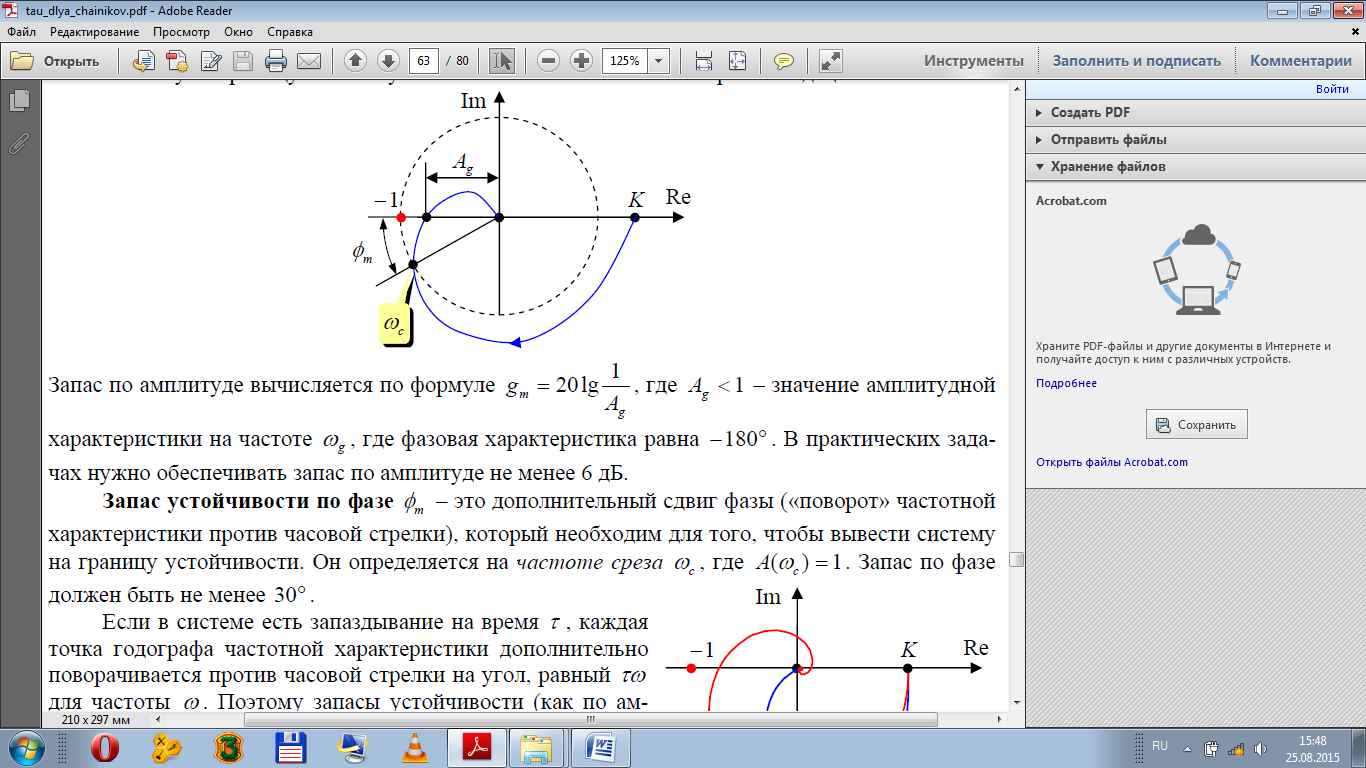
где *Т* ‑ период колебаний переходной характеристики**.**

**Частотные оценки качества**

Качество системы можно оценивать не только во временнóй области (переходный процесс во времени), но и в частотной (по частотной характеристике). Из частотных оценок наиболее важны **запасы устойчивости**. Дело в том, что поведение реального объекта всегда несколько отличается от принятой модели, более того, динамика может меняться во времени, например, когда корабль расходует топливо в ходе рейса. Поэтому недостаточно спроектировать просто устойчивую систему, нужно, чтобы система сохранила устойчивость при некоторых изменениях параметров объекта и регулятора в сравнении с расчетными, то есть, обладала запасами устойчивости.

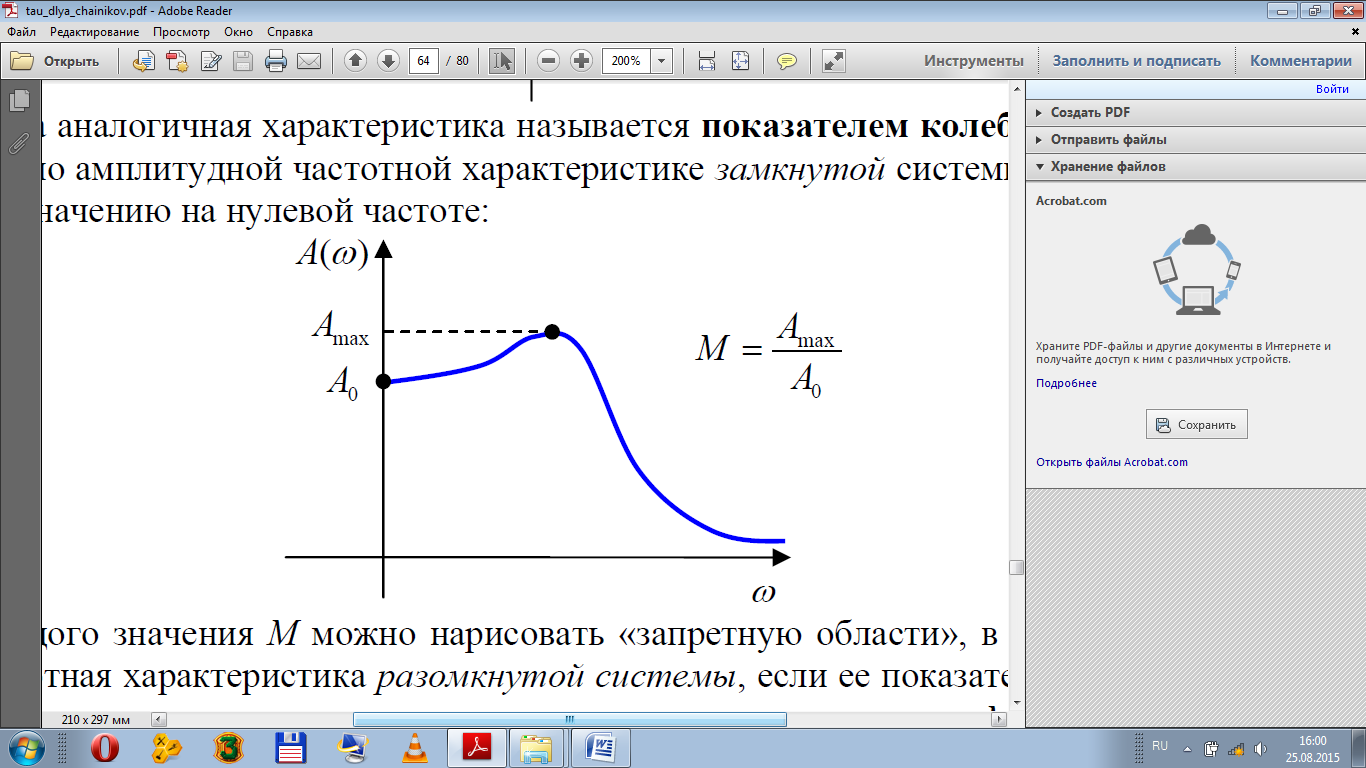
Обычно арссматривают запасы устойчивости по амплитуде и по фазе. **Запас устойчивости по амплитуде** *gm* – это дополнительное усиление контура, которое необходимо, чтобы вывести систему на границу области устойчивости. Эта величина измеряется в децибелах.



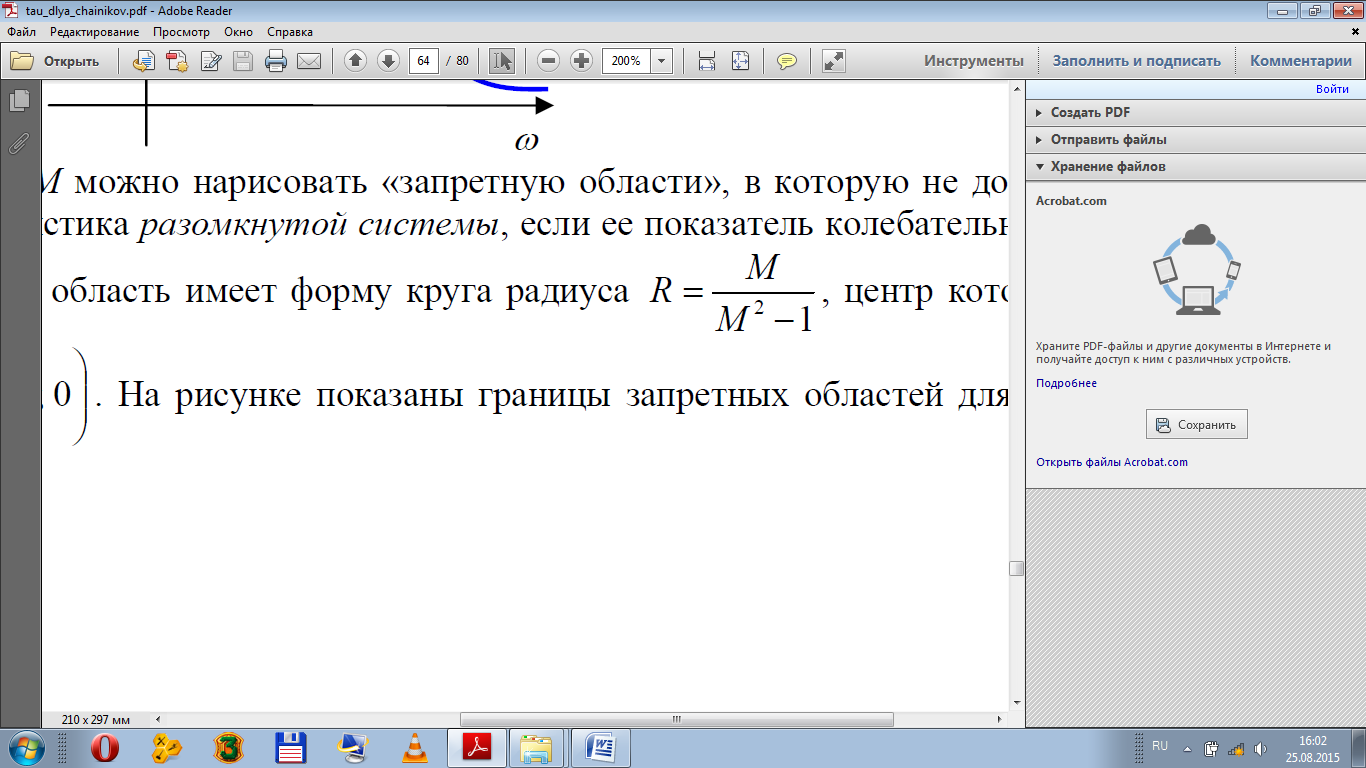


**Запас устойчивости по фазе** φ*m*– это дополнительный сдвиг фазы («поворот» частотной характеристики против часовой стрелки), который необходим для того, чтобы вывести систему на границу устойчивости. Он определяется на *частоте среза* ω*c*, где *A* (ω*c*) = 1 . Запас по фазе должен быть не менее 30° .

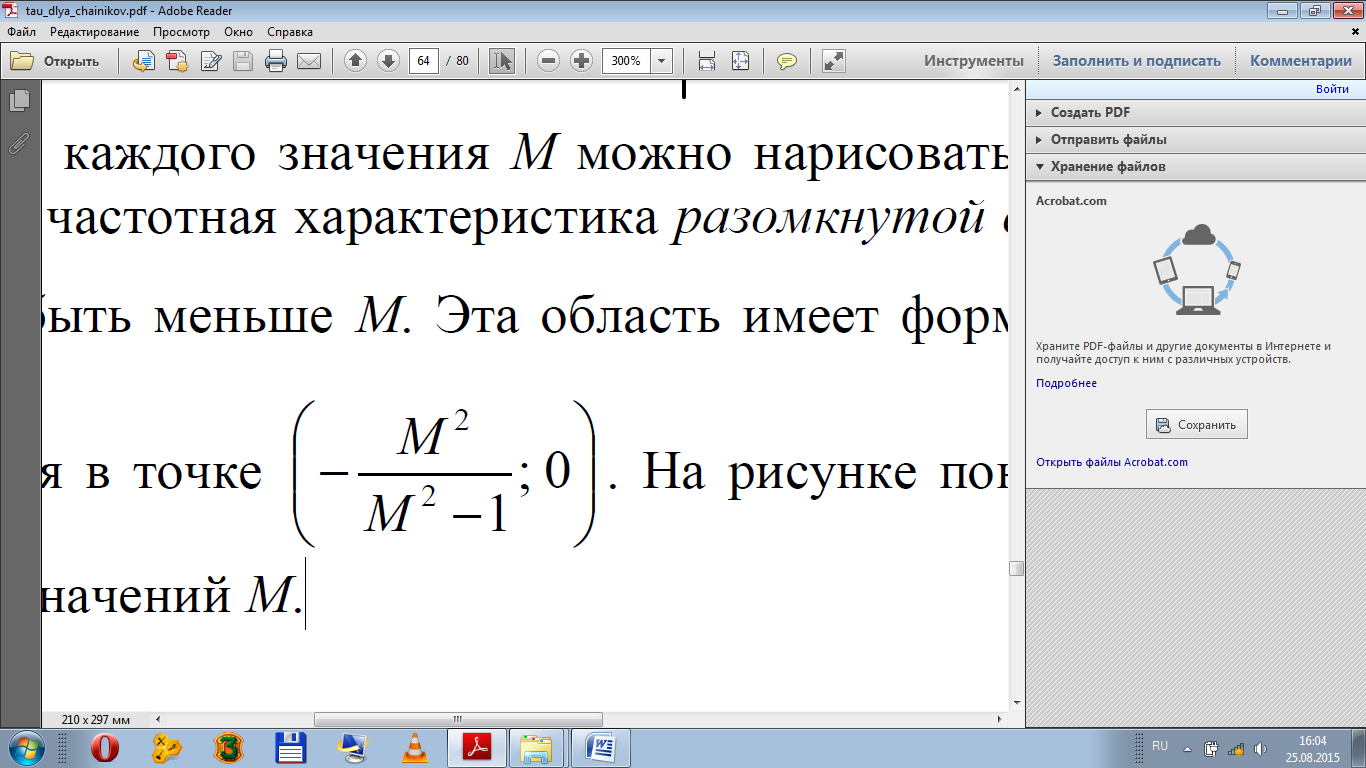
Еще одна аналогичная характеристика называется **показателем колебательности *M*.** (Параметр, определяющий скорость затухания колебаний в системе, чем больше этот параметр, тем слабее затухают колебания). Она определяется по амплитудной частотной характеристике *замкнутой* системы как отношение ее максимума к значению на нулевой частоте:

****

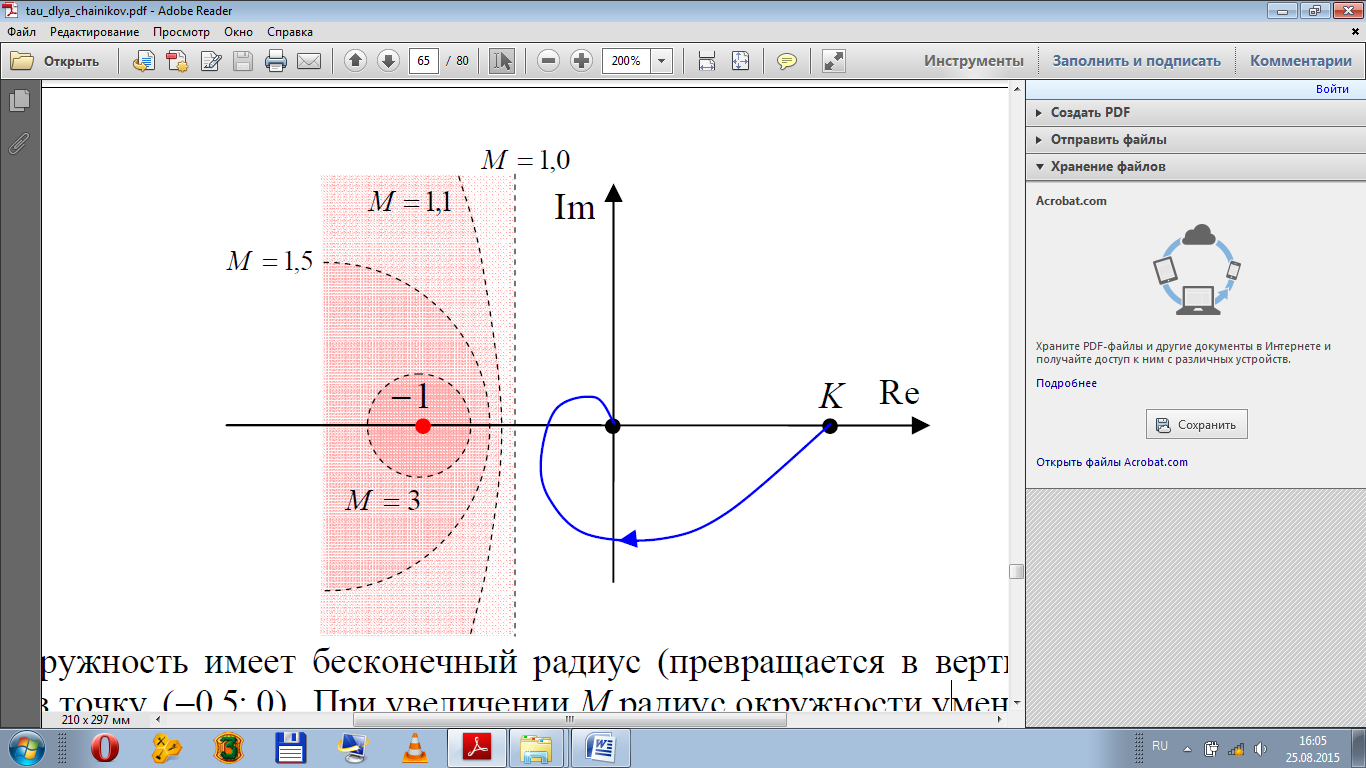
Для каждого значения *M* можно нарисовать «запретную области», в которую не должна заходить частотная характеристика *разомкнутой системы*, если ее показатель колебательности должен быть меньше *М*. Эта область имеет форму круга радиуса



центр которого находится в точке ⎟



На рисунке показаны границы запретных областей для различных значений M.



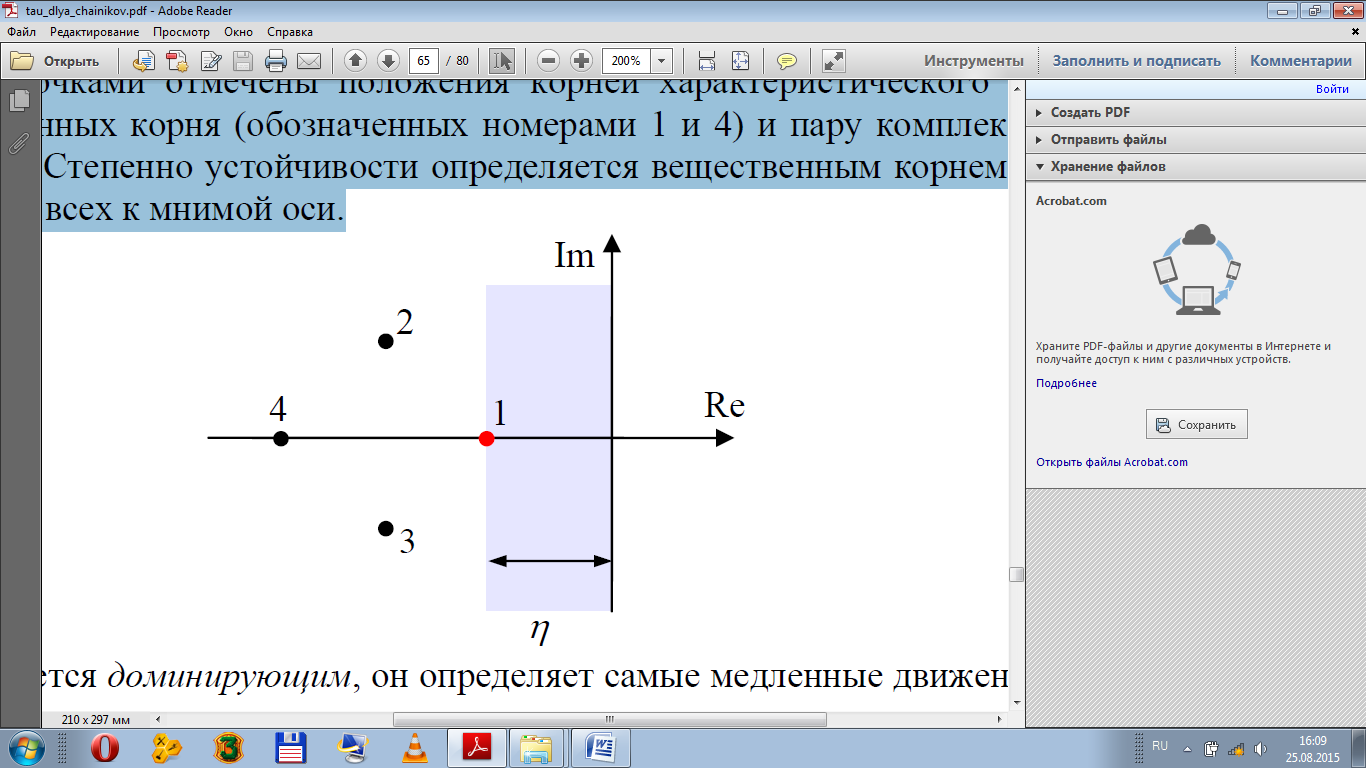
При *M* = 1 окружность имеет бесконечный радиус (превращается в вертикальную линию) и проходит через точку (−0,5; 0) . При увеличении *M* радиус окружности уменьшается.

**Корневые *оценки качества***

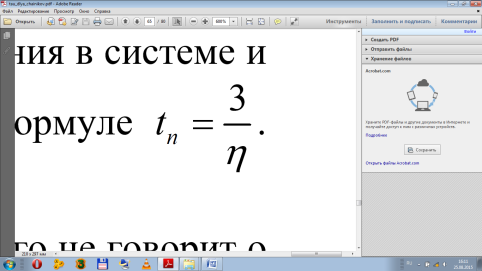
Многие свойства системы можно предсказать, посмотрев на расположение корней характеристического полинома на комплексной плоскости. Прежде всего, все корни для устойчивой системы должны находиться в левой полуплоскости, то есть слева от мнимой оси.

Быстродействие системы определяется **степенью устойчивости** η – так называется расстояние мнимой оси до ближайшего корня (или пары комплексно-сопряженных корней).

На рисунке точками отмечены положения корней характеристического полинома. Он имеет два вещественных корня (обозначенных номерами 1 и 4) и пару комплексно сопряженных корней (2 и 3). Степенно устойчивости определяется вещественным корнем 1, потому что он находится ближе всех к мнимой оси.



Этот корень называется *доминирующим*, он определяет самые медленные движения в системе и время переходного процесса, которое может быть примерно рассчитано по формуле



Корни 2, 3 и 4 соответствуют более быстрым движениям.

Обратите внимание, что степень устойчивости, несмотря на название, ничего не говорит о близости системы к границе устойчивости, она только характеризует быстродействие.

**Робастность**

Обычно регулятор строится на основе некоторых приближенных (*номинальных*) моделей объекта управления (а также приводов и датчиков) и внешних возмущений. При этом поведение реального объекта и характеристики возмущений могут быть несколько иными. Поэтому требуется, чтобы разработанный регулятор обеспечивал устойчивость и приемлемое качество системы при малых отклонениях свойств объекта и внешних возмущений от номинальных моделей. В современной теории управления это свойство называют *робастностью* (грубостью).

Иначе его можно назвать нечувствительностью к малым ошибкам моделирования объекта и возмущений.

Различают несколько задач, связанных с робастностью:

• **робастная устойчивость** – обеспечить *устойчивость* системы при всех допустимых отклонениях модели *объекта* от номинальной;

• **робастное качество** – обеспечить *устойчивость* и заданные *показатели качества* системы при всех допустимых отклонениях модели *объекта* от номинальной;

• **гарантирующее управление** – обеспечить заданные показатели качества системы при всех допустимых отклонениях модели *возмущения* от номинальной (считая, что модель объекта известна точно).

Для того, чтобы исследовать робастность системы, нужно как-то определить возможную ошибку моделирования (неопределенность). Ее можно задать различными способами.