Зазоры и касания

DYNAMICS R4

TRANZIT

Doosan Heavy Industry&Construction - наш партнер

Разрушения паровых турбин

- авария турбины энергоблока 225 Мвт станции "Галлатин" (США), 19 июня 1974г;

- авария на тепловой электростанции в США (Теннесси, 1974);
-
- авария в России - Каширская ТЭС мощностью 300 МВт (октябрь 2002 г.);
-
- авария в Украине на одном из энергоблоков Приднепровской ТЭС (2007);
-
- авария в России ОАО "ЗСМК" (2010).

Паровые турбины

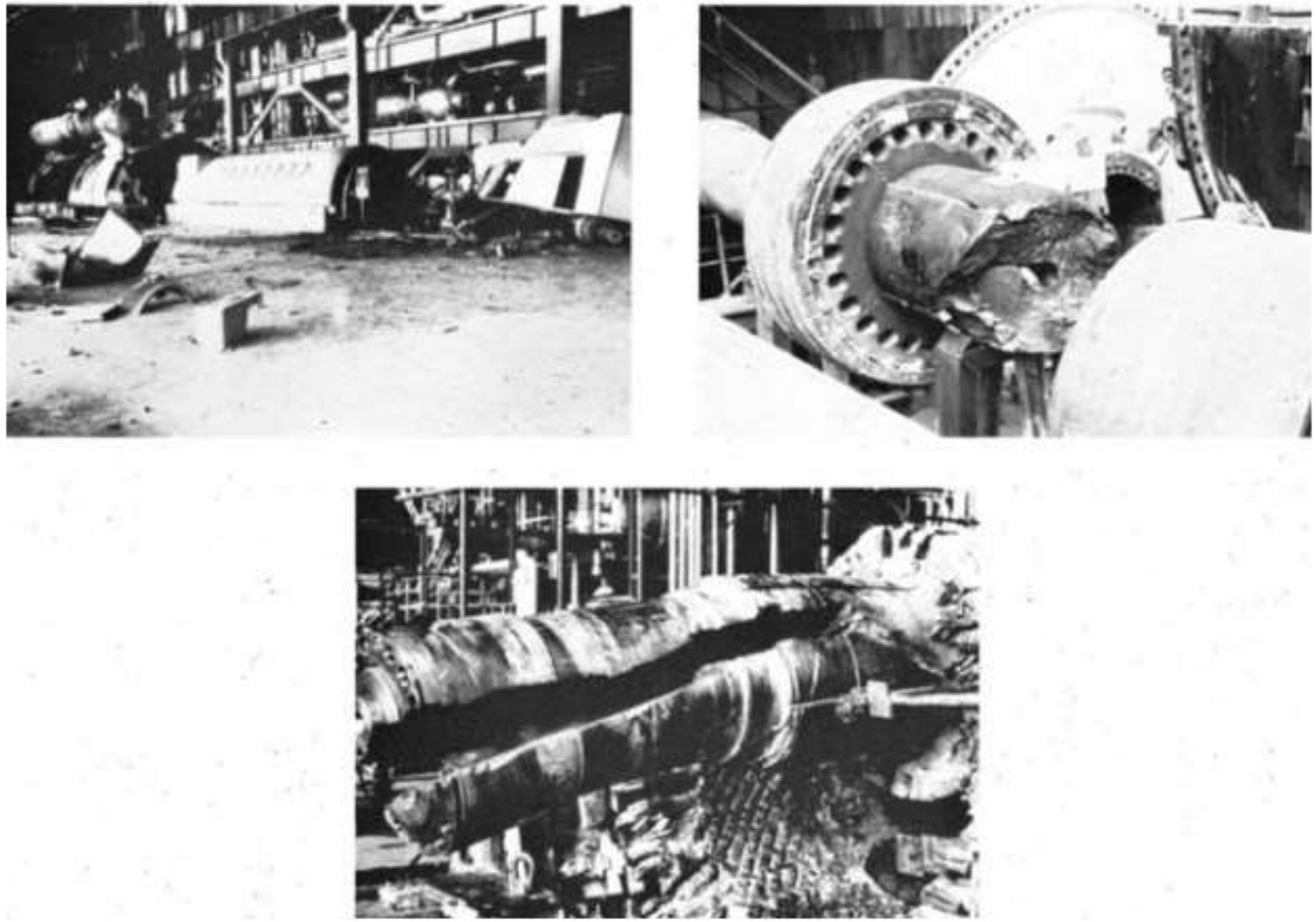
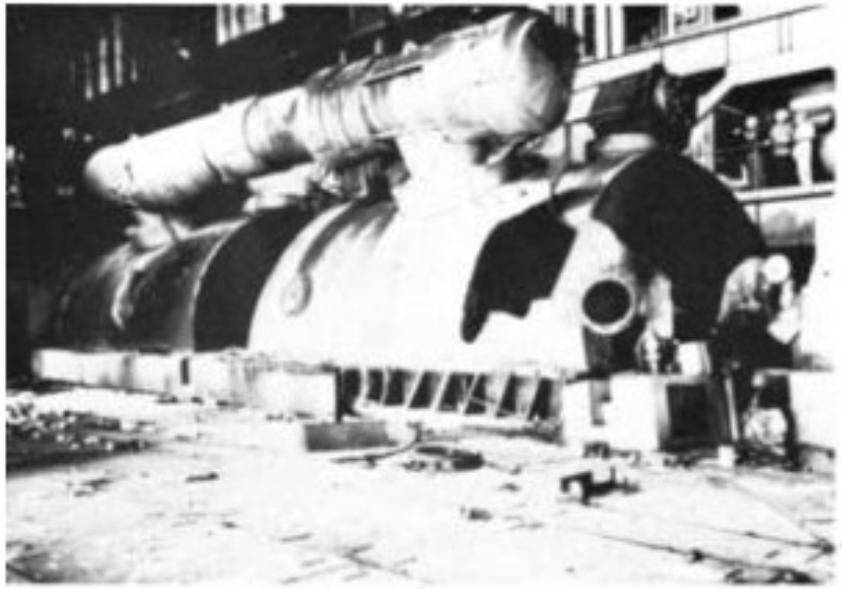
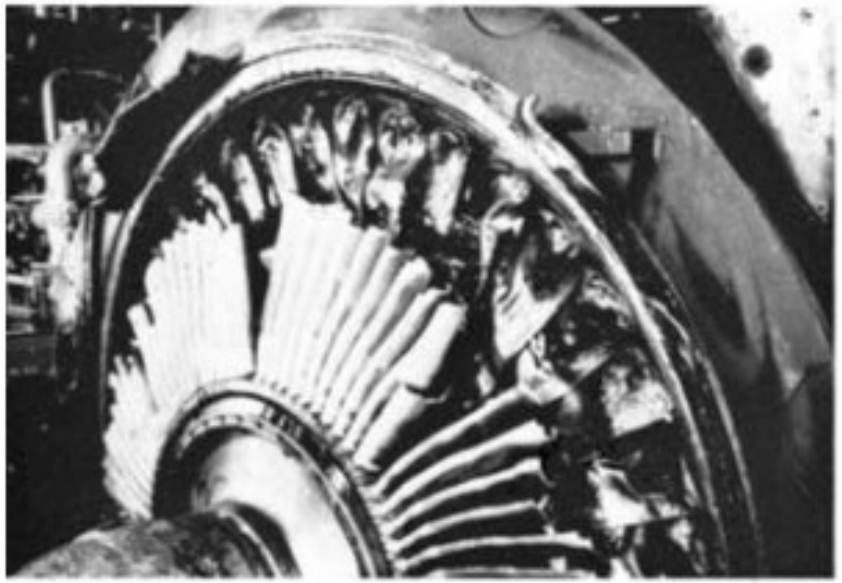


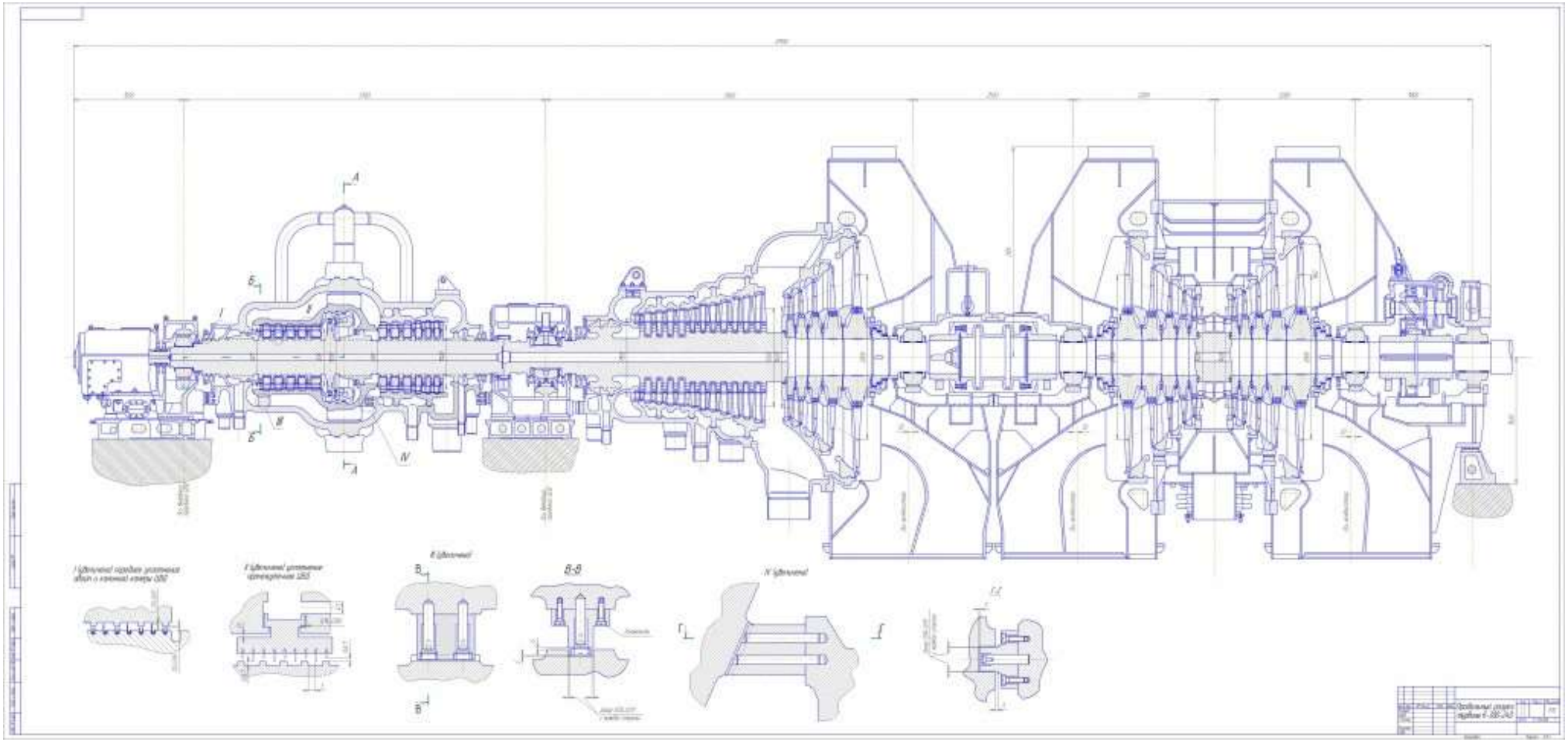
FIGURE 14 Photographs from two catastrophic failures in the 1970s of large 600 MW steam turbine-generator sets. Using nonlinear rotor dynamic response computations, failures could be potentially traced to the large unbalance from loss of one or more large low-pressure turbine blades at running speed, coupled with the behavior of fixed-arc journal bearings during large unbalance.

Разрушения паровых турбин





Разрушение паровой турбины К-300-240-1

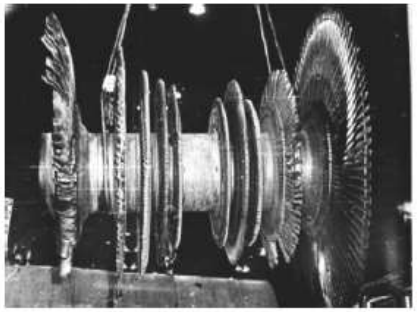


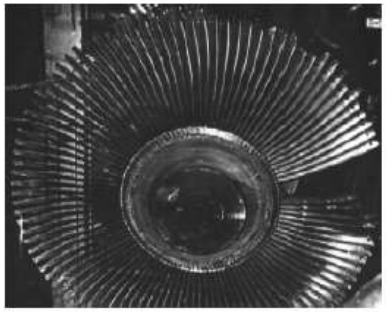
Разрушение паровой турбины К-300-240-1

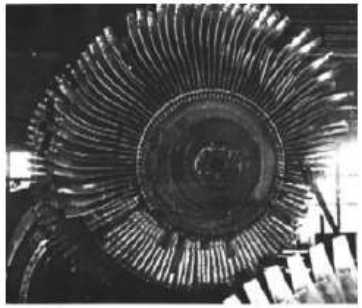
Авария на Каширской ТЭС - 2002 год

На момент аварии паровая турбина имела выработку 228,5 тыс. н. Назначенный индивидуальный ресурс 250 тыс. ч. Количество накопленных пусков-190. Турбогенератор был введен в эксплуатацию в 1968 году и за этот период 14 раз ремонтировался. Параметры пара, вибрация и другие показатели были в пределах нормы.

Авария сопровождалась полным разрушением турбины и генератора

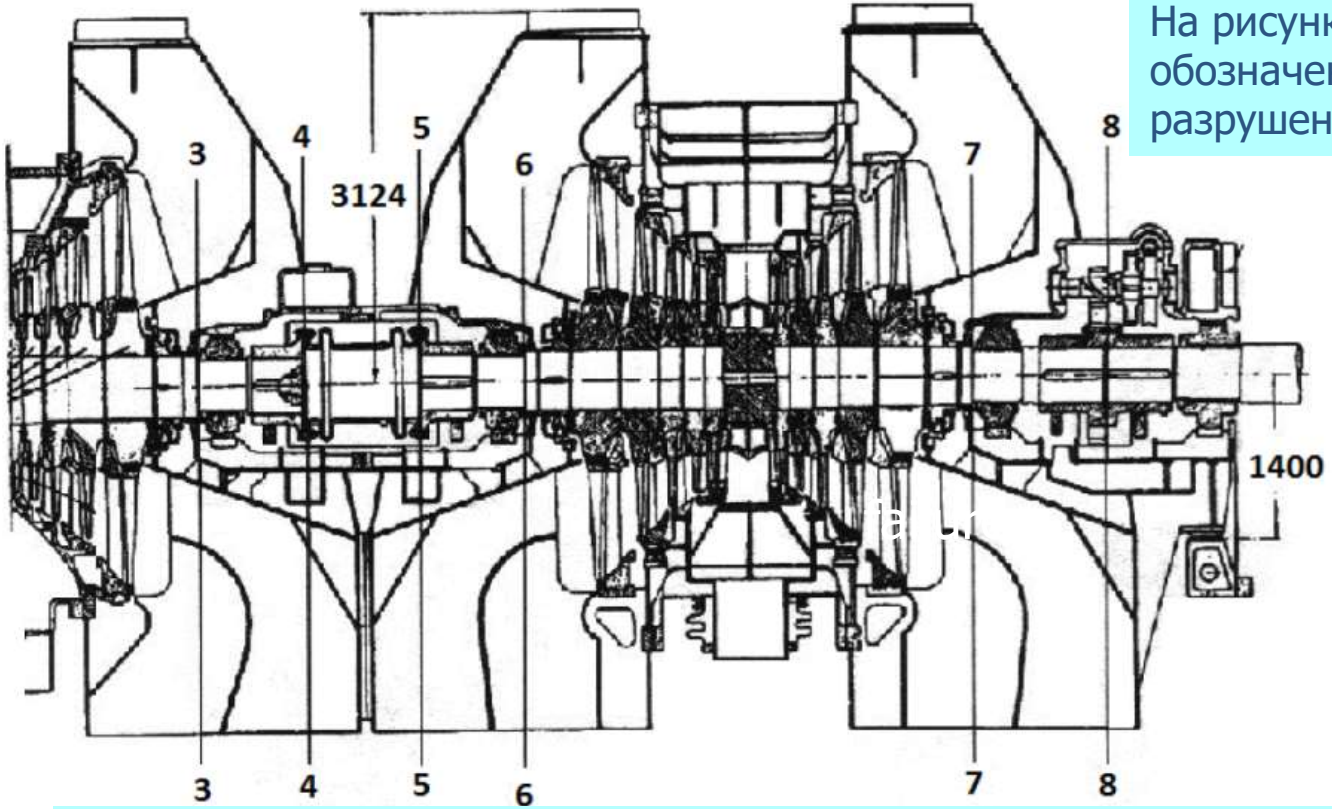

а)


б)


в)

г)

Разрушение паровой турбины К-300-240-1



На рисунке показана турбина и обозначены секции, у которых был разрушен вал.

Все валы турбины с изломом имеют силовой характер скручивания с пропорциональным изгибным компонентом или без него.

Признаков усталостного повреждения не обнаружено. Это отражает динамическое скручивание, вызванное скоростью торможения ротора с большим отрицательным ускорением.

Изгибная составляющая, вероятно, является следствием появлением прецессии вала с большим прогибом.

Причины катастрофических разрушений

TRANZIT

•Обрыв лопаток или группы лопаток, приводящий к большому дисбалансу и контакту вала со статором

• Малые зазоры между венцами рабочих колес и статоров, приводящие к контактам вала со статором

• Изгибные и крутильные колебания на резонансных режимах турбины

•Контакт обмоток ротора турбогенератора со статором

•Короткое замыкание в турбогенераторе

•Нарушение характеристик жесткости валопровода, приводящее к смещению резонансных режимов

•Неправильная конструкция

•Падение АМБ с опорой ротора на предохранительные подшипники

• Трещины в валах из-за малоцикловой усталости, приводящие к контактам вала и статора и т.д.

Эти условия не всегда приводят к таким серьезным последствиям, даже для турбин одного типа.

Это означает, что при проектировании турбин необходимо учитывать возможные последствия любых нарушений в работе турбоагрегата

Разрушение паровой турбины К-300-240-1

Но, несмотря на разницу в причинах, разрушение большинства из них имеет один и тот же процесс:

Контакт валов и корпусов валопровода газовых турбин

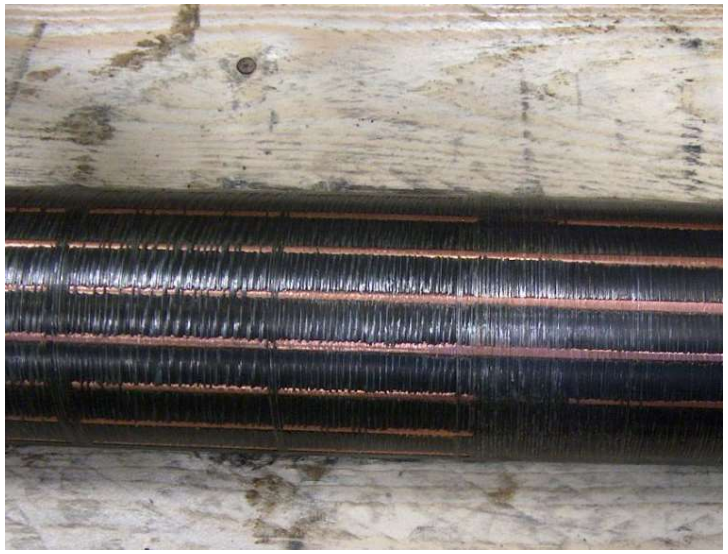
Резкое торможение отдельных секций валопровода до полной остановки с выделением огромного количества энергии в момент торможения

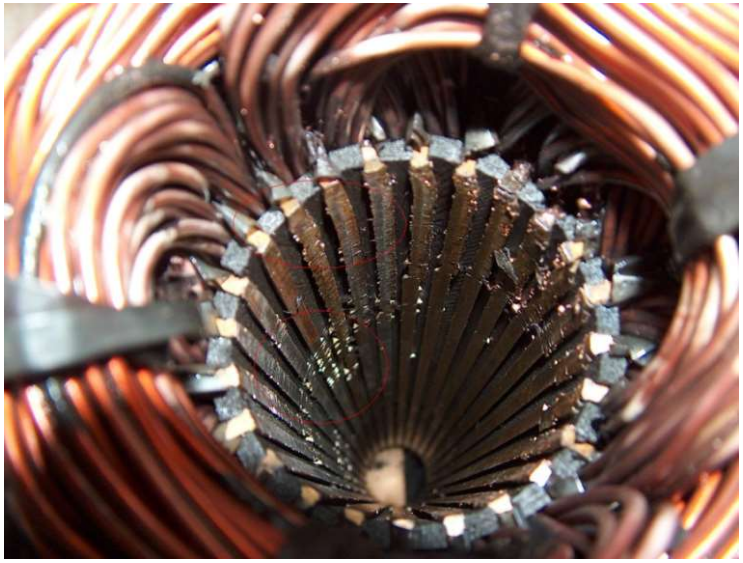
Скручивание секций валопровода относительно друг друга и, наконец, полное разрушение турбин и, возможно, всего энергетического комплекса - машинных залов и зданий

Разрушения вращающихся машин

Поясним механизм повреждения и разрушения вращающихся механизмов на примере погружного электродвигателя

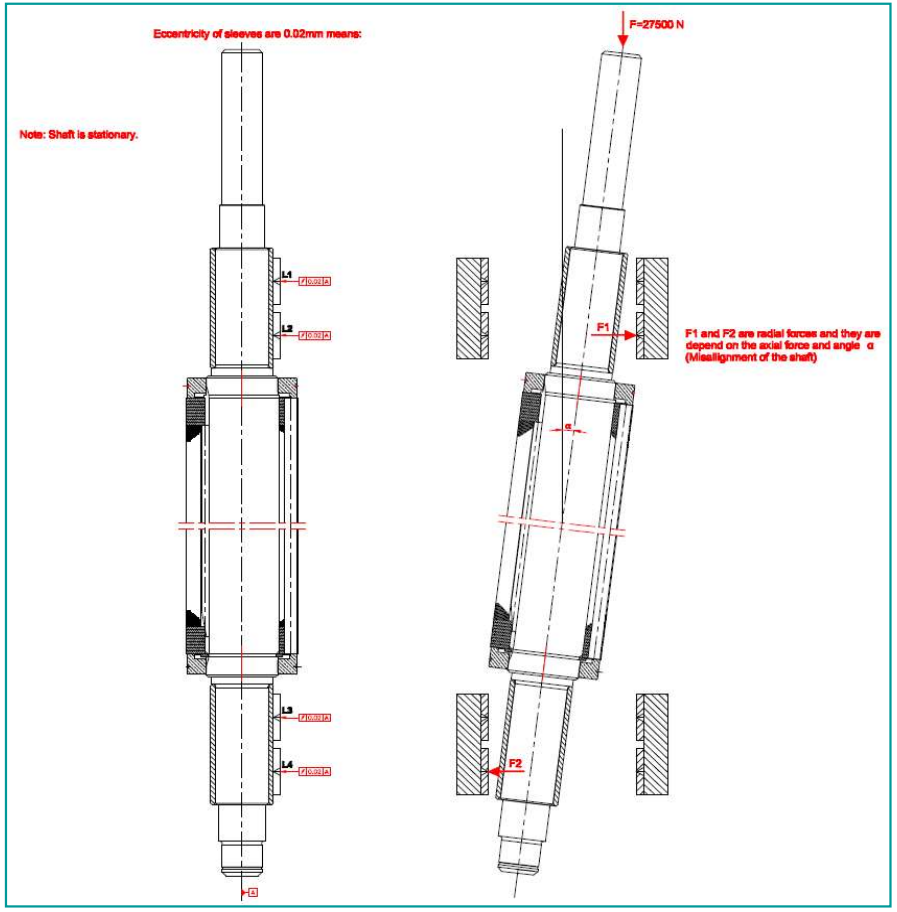
Разрушение погружного мотора

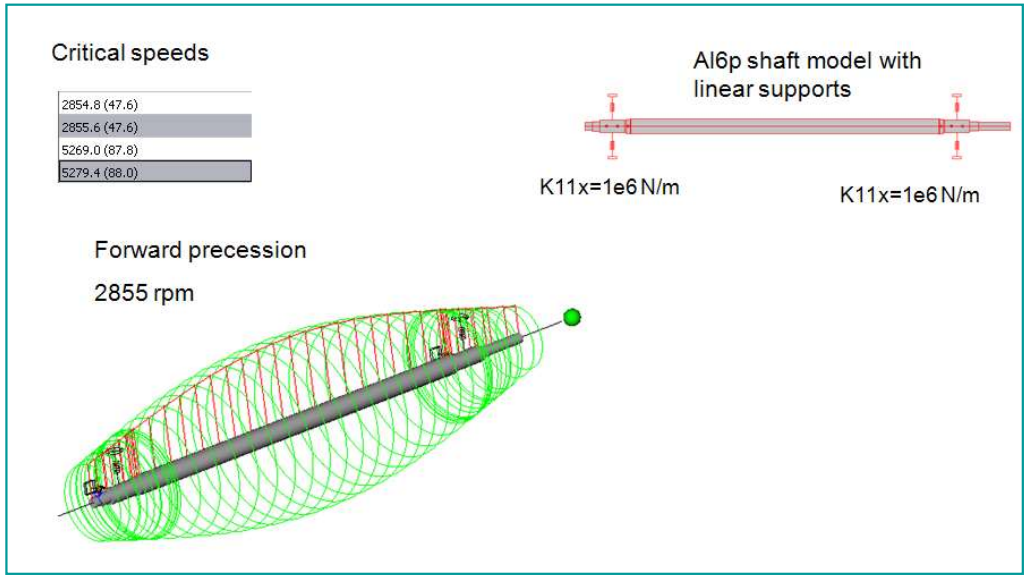


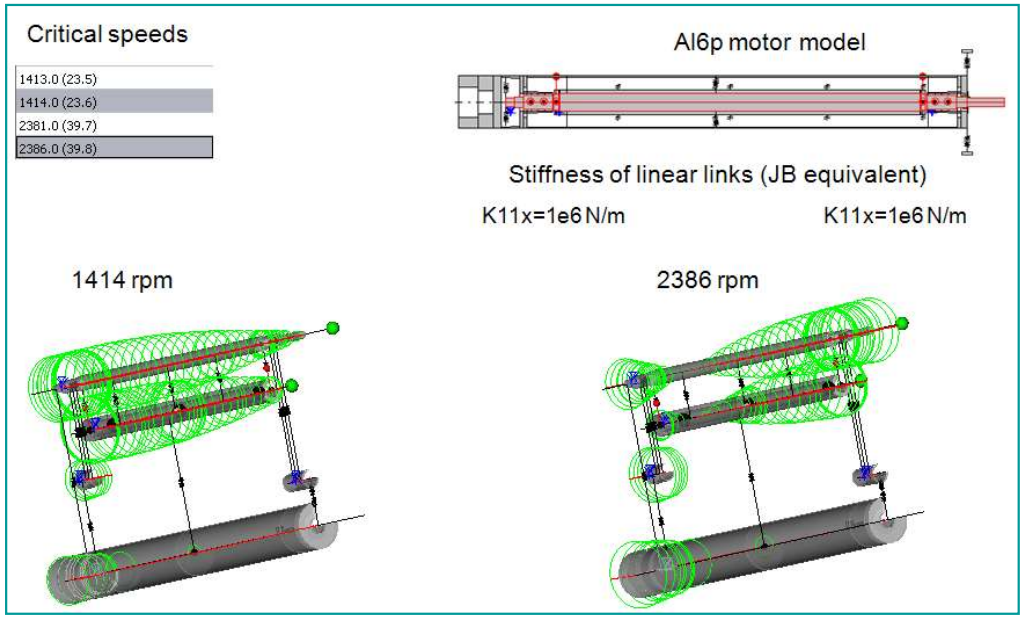


Destruction of motor journal bearings shaft

Ошибки в проектировании ?







Разрушение погружного мотора

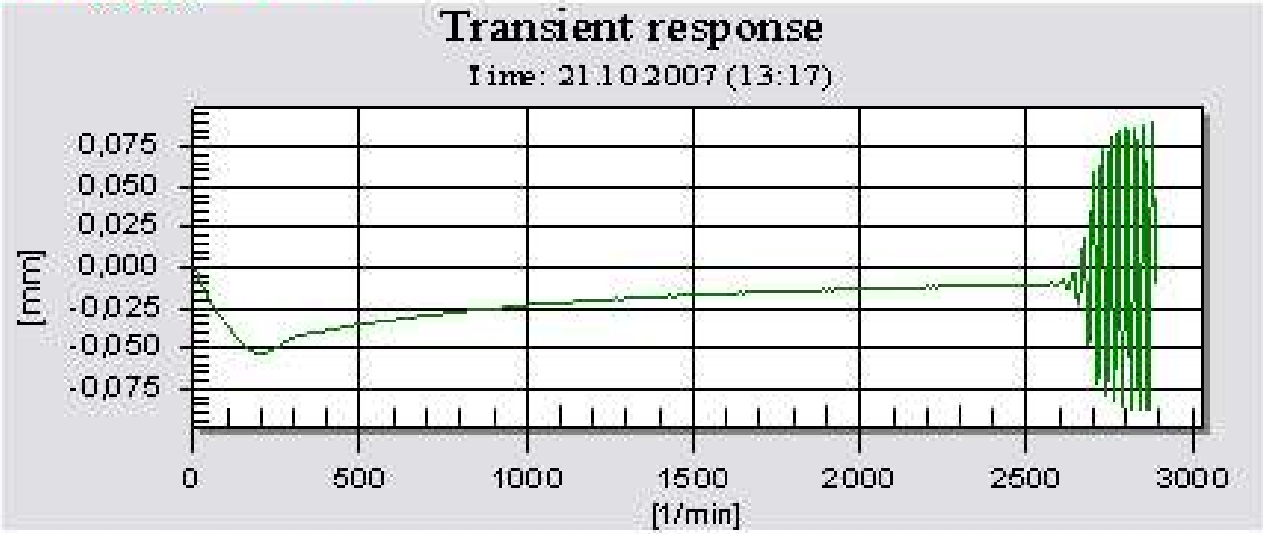
Additional statical moment on the shaft due axial force 10 Nm

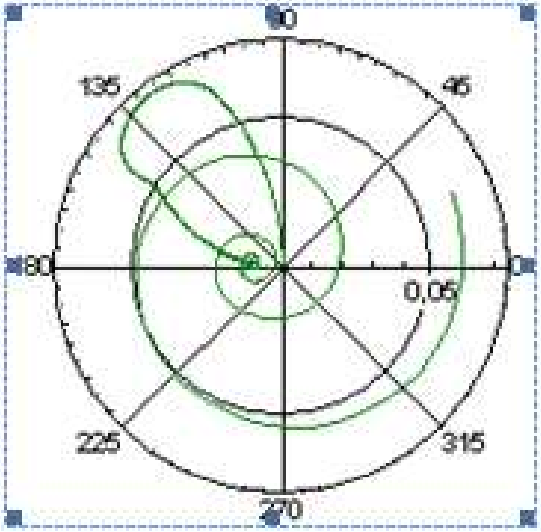
Time 0-0.4 - no moment

Time 0.4…… - applied moment

1 st left bearing

Start up 0… 6000





Instability ~ 2500 rpm

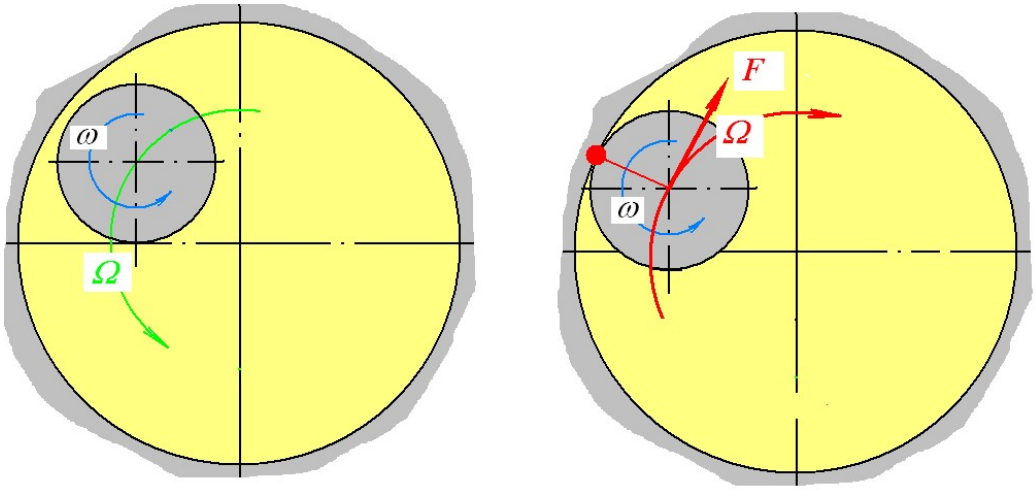
Потеря устойчивости из-за неправильного выбора конструкции ротора и подшипников цапф/ Рабочая скорость 3000 об/мин

Вероятный механизм разрушения

Прямая прецессия – нормальная работа ротора

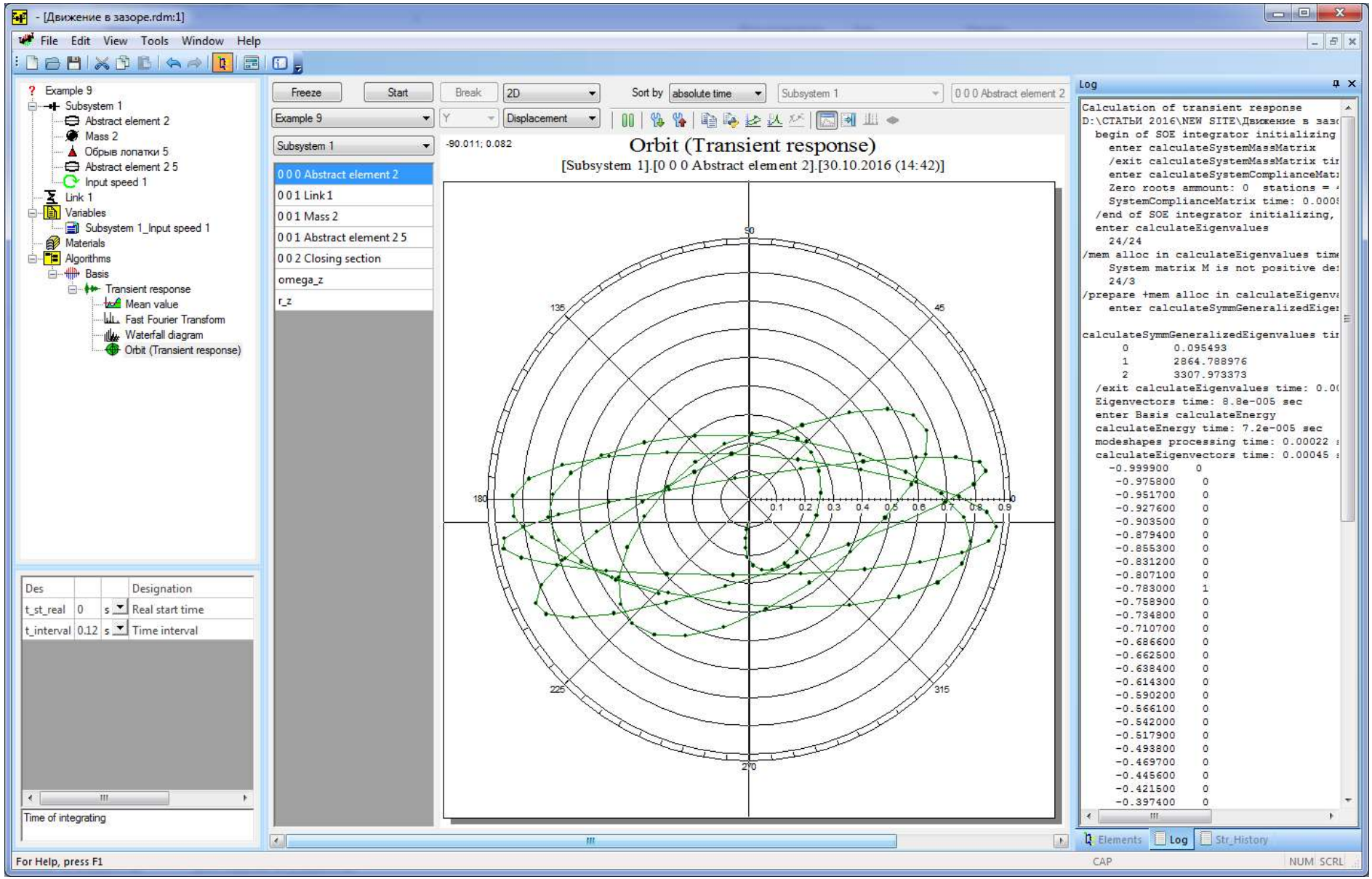
1. Критическая скорость в рабочем диапазоне
2. Выбор зазора
3. Грубое касание
4. Торможение вала

Быстрый переход ротора к нулевой скорости и появление обратной прецессии



Причина разрушения неправильное проектирование

DYNAMICS R4 - мощный инструмент для проектирования и динамического совершенствования вращающихся машин



DYNAMICS R4

TRANZIT

Нет касаний! Возможна ли потеря устойчивости?

TRANZIT

- [Движение в зазоре.rdm:1]

File Edit View Tools Window Help

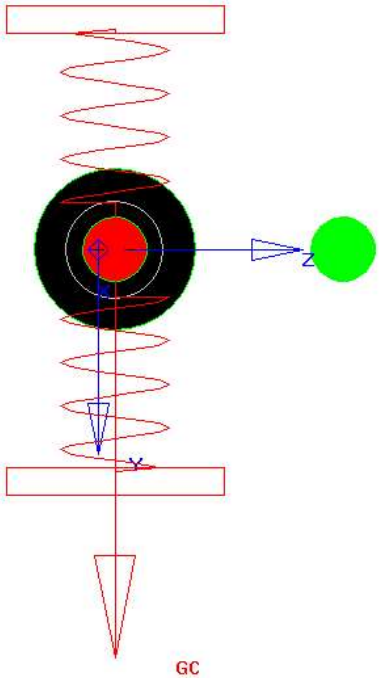
Example 9
- Subsystem 1
  - Abstract element 2
  - Mass 2
  - Обрыв лопатки 5
  - Abstract element 2 5
  - Input speed 1
- Link 1
- Variables
  - Subsystem 1_Input speed 1
- Materials
- Algorithms
  - Basis
    - Transient response
      - Mean value
      - Fast Fourier Transform
      - Waterfall diagram
      - Orbit (Transient response)

Des	Link 1	
conn_type	via body	
side1_subs	Subsystem 1.Example 9	
side1_l	1	mm
side2_subs		
trns_exclude	No	
Type	Full	
stiff_matrix	...	
damp_matrix	...	
d*	0	mm

Freeze

Subsystem 1 | Example 9

Example 9.Link 1
Example 9
GCx=0m, GCy=0m, GCz=0.001m, sizeZ=0.002m
m=10000kg, Jx=0kg m2, Jy=0kg m2, Jz=0kg m2



Log

```
D:\СТАТЬИ 2016\NEW SITE\Движение в зазо
  begin of SOE integrator initializing
    enter calculateSystemMassMatrix
    /exit calculateSystemMassMatrix tim
    enter calculateSystemComplianceMatr
    Zero roots ammount: 0  stations = 4
    SystemComplianceMatrix time: 0.000
  /end of SOE integrator initializing,
  enter calculateEigenvalues
    24/24
/mem alloc in calculateEigenvalues time
    System matrix M is not positive de
```

Matrix

Stiffness

		ut_x	ut_y	ut_z	ur_x	ur_y	ur_z
		m	m	m	rad	rad	rad
Fx	N	9e+008	0	0	0	0	0
Fy	N		1.2e+009	0	0	0	0
Fz	N			1	0	0	0
Mx	N m				1	0	0
My	N m					1	0
Mz	N m	symm					1

Damping

		vt_x	vt_y	vt_z	vr_x	vr_y	vr_z
		m...	m...	m/s	rad/s	rad/s	rad/s
Fx	N	200000					
Fy	N		300000				
Fz	N			0			
Mx	N ...				0		
My	N ...					0	
Mz	N ...						0

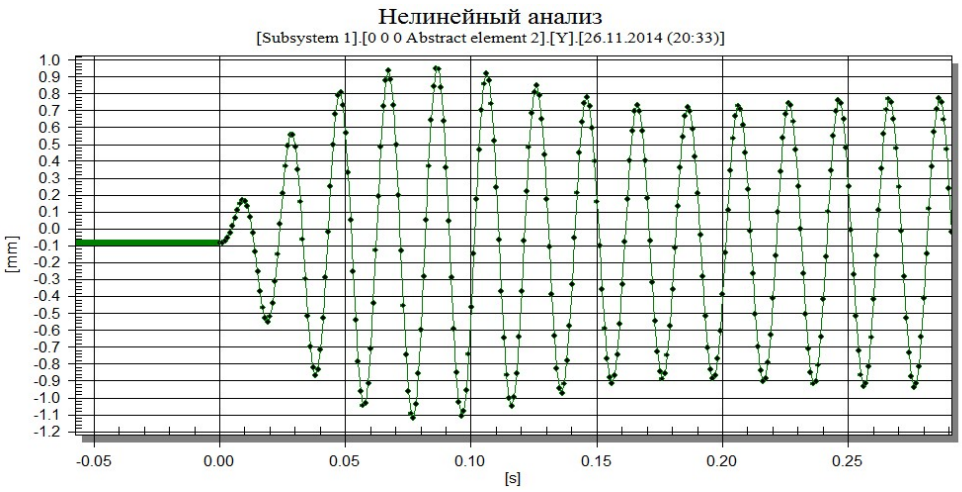
OK
Cancel
Attach external v...
Detach external ...
Mtr. Calculator

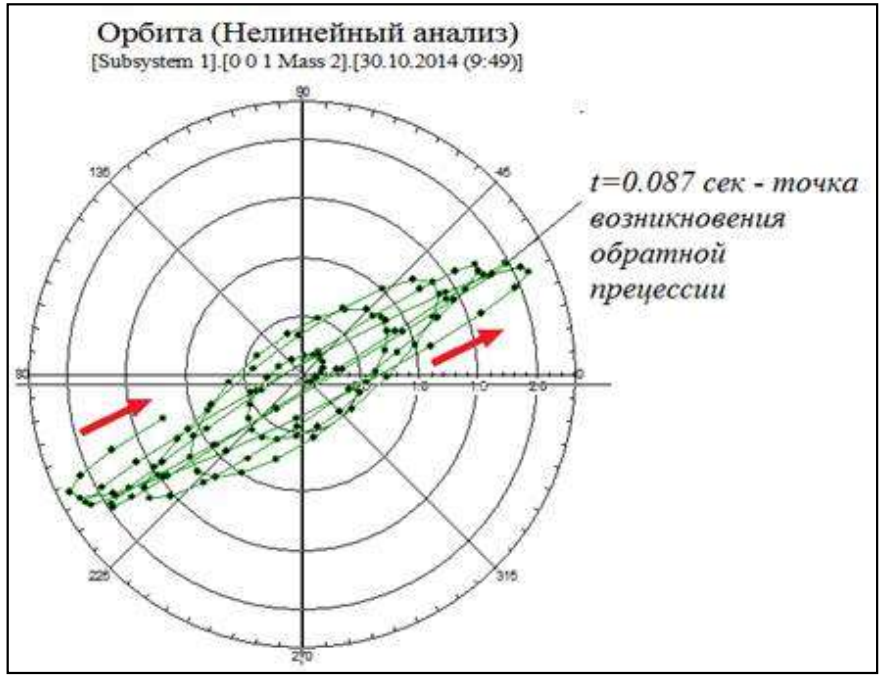
Elements | Log | Str_History

For Help, press F1 | CAP | NUM SCRL

DYNAMICS R4

Нет касаний! Возможна ли потеря устойчивости?

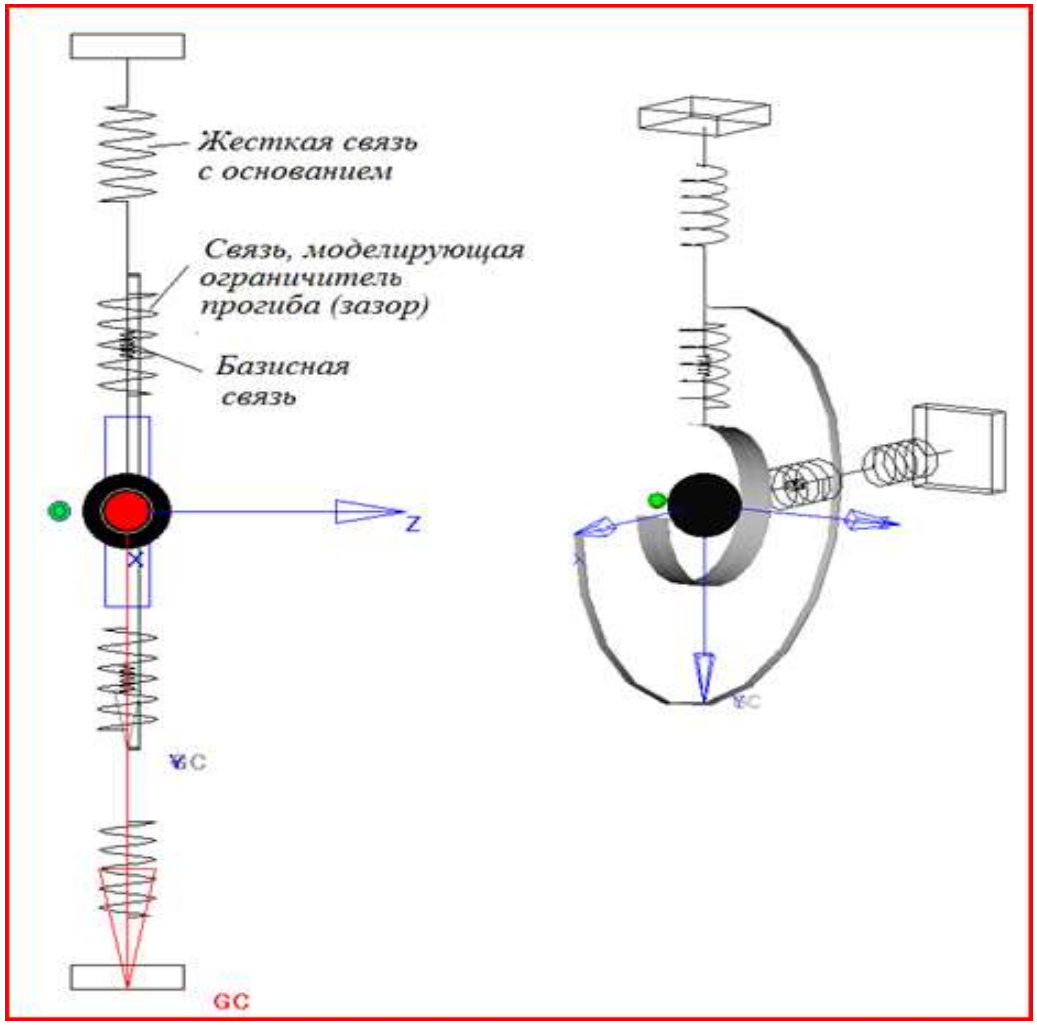




В качестве примера моделирования движения ротора в зазоре без контакта взят точечный ротор с ортотропной опорой. Показана зависимость движения ротора от положения скорости вращения ротора ω в момент разбалансировки относительно собственных частот p1 и p2.

Переход к обратной прецессии происходит, если скорость вращения ω, при которой происходит внезапный дисбаланс, находится между первой собственной частотой p1 и второй p2.

Влияние податливости корпуса на потерю устойчивости ротора



В качестве примера для моделирования движения ротора в зазоре был взят точечный ротор с двумя степенями свободы.

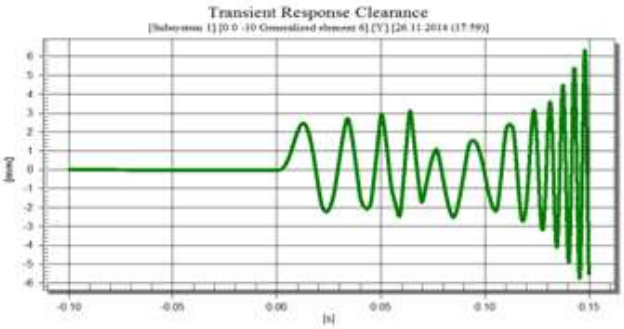
Исследовано, как податливость в точке контакта влияет на тип прецессии.

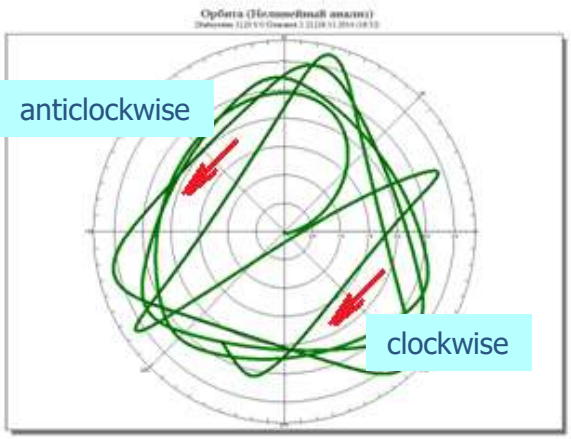
Показано, что увеличение податливости в точке контакта ротора и статора уменьшает вероятность перехода ротора в обратную прецессию.

Влияние податливости в контакте на устойчивость ротора

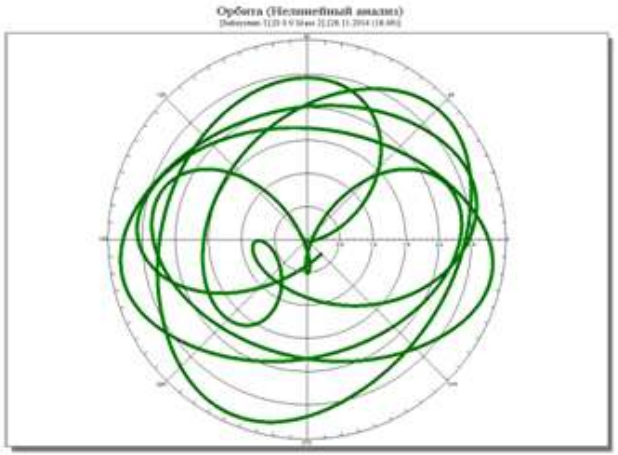
TRANZIT

$K_1=K_2=1e11$ Н/м

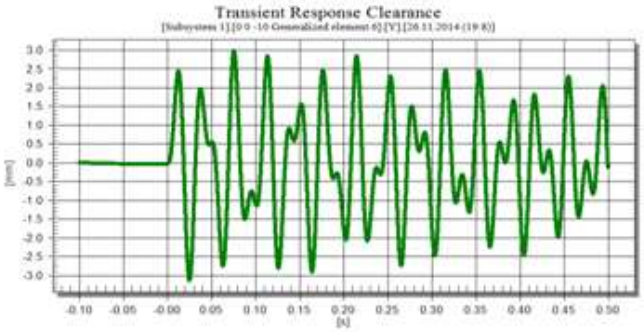


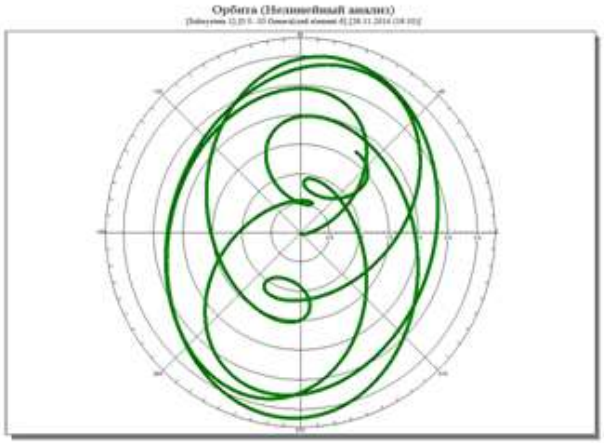


$K_1=K_2=1e10$ Н/м



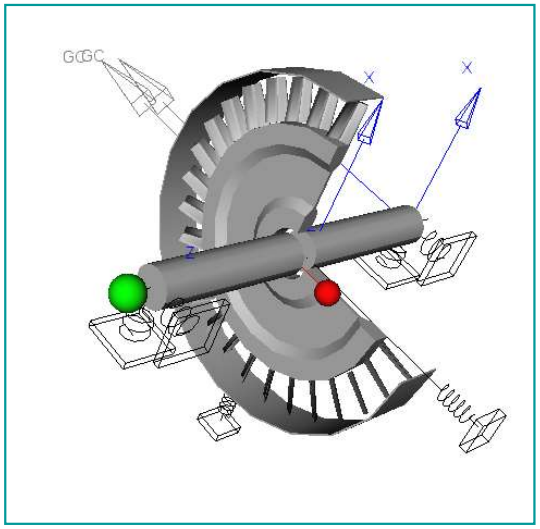
$K_1=K_2=1e09$ Н/м

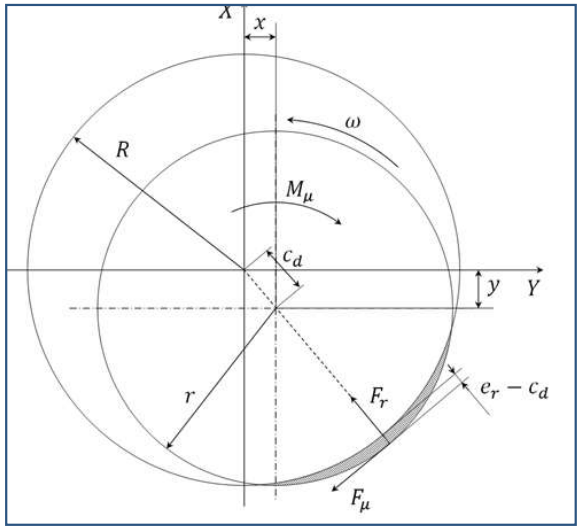


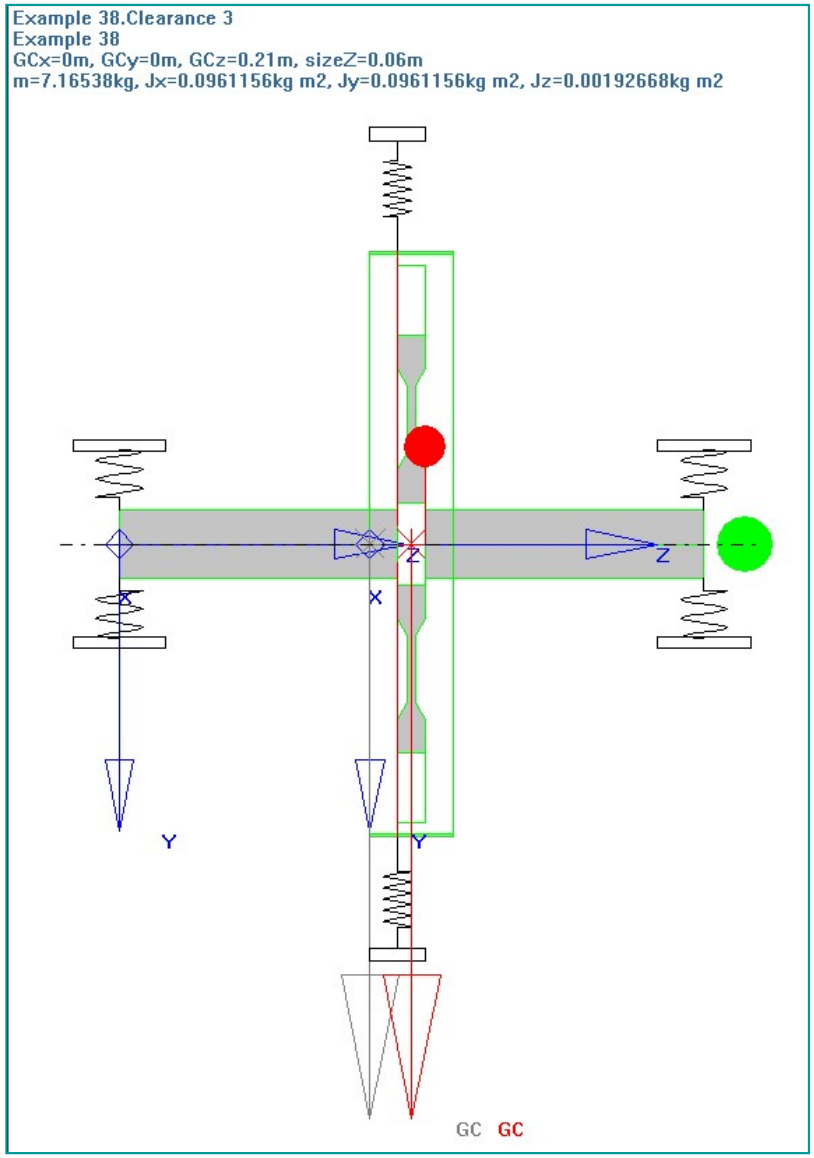


DYNAMICS R4

Касание- элемент “Подшипник сухого трения”







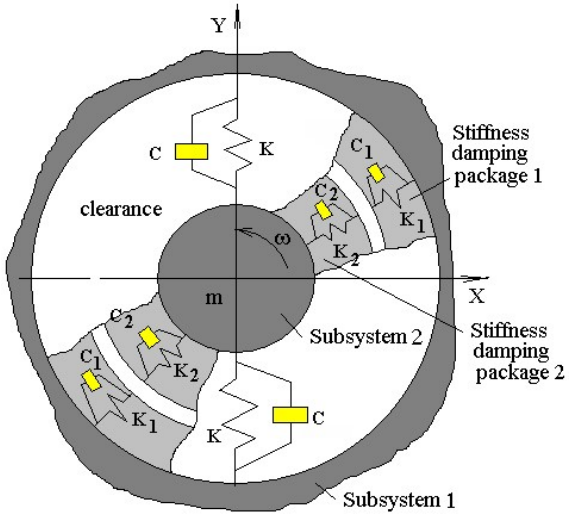
$$F_\mu = \begin{cases} \mu * Fr, при\ V > 0 \\ -\mu * Fr, при\ V < 0 \\ \mu s * Fr, при\ \leq Vsmin \end{cases}$$

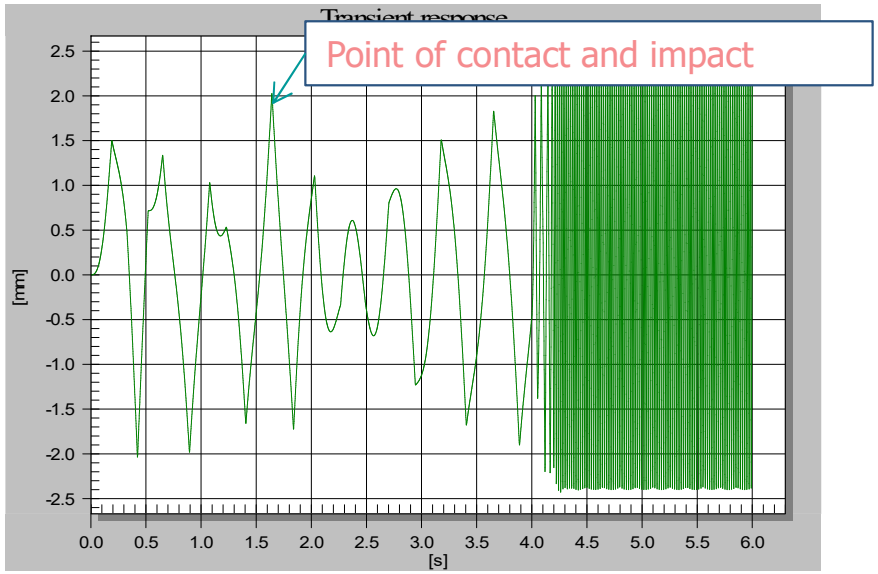
$$M\mu = R * F\mu$$

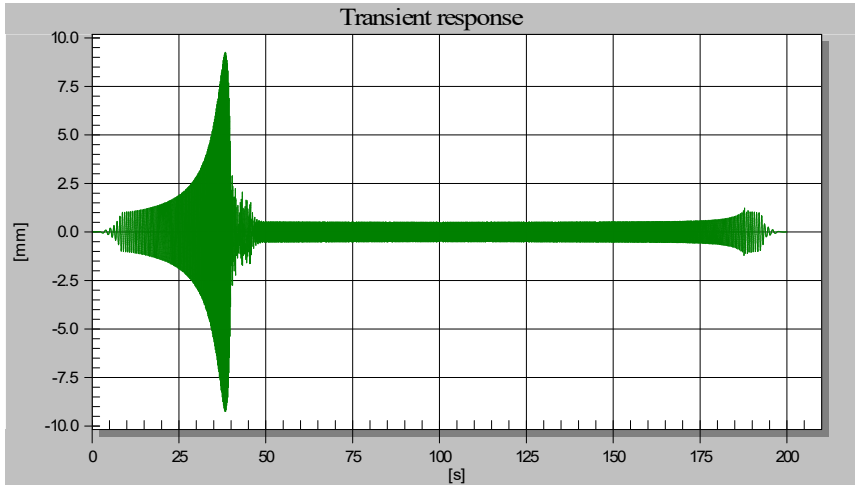
$$Vs = \Omega * \delta + (\omega 1 * r - \omega 2 * R)$$

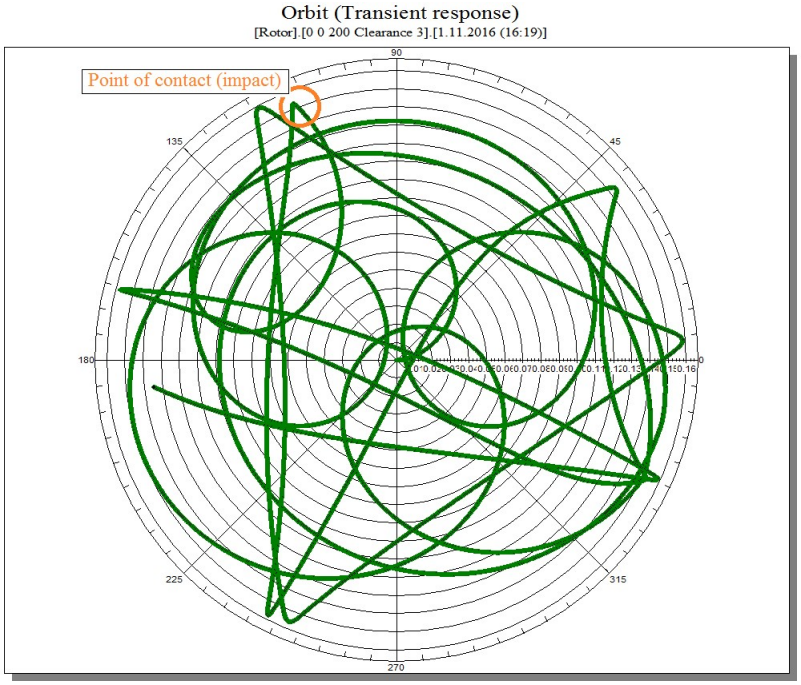
$$|Vs| \leq Vsmin$$

Касание – элемент “Зазор”





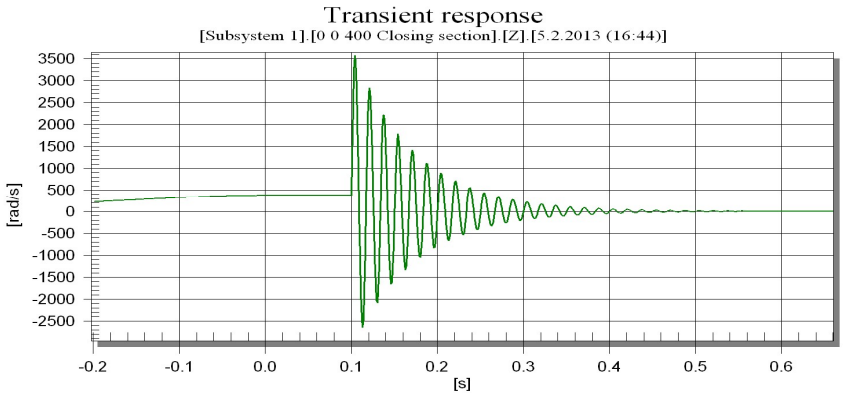




Моделирование короткого замыкания – нагружение моментом

Элемент [Крутящий момент] представляет собой внешнюю динамическую нагрузку, прикладываемую к сечению подсистемы. Предназначен для моделирования динамических изменений крутящего момента. Гармонические возмущения могут возникать, например, в электрических машинах при 2-х и 3-х фазном коротком замыкании. Крутящий момент задан в виде гармонического ряда. Соответственно, подставляя значения амплитуд, постоянных времени и фаз, можно моделировать различное поведение крутящего момента. Для математического описания крутящего момента используется гармонический ряд

Des	Torque Load		Designation
z1	0	mm	Start coordinate
R*	0	mm	Fictive radius
t_st_type	real		Start time definition
t_st_real	0.1	s	Real start time
Trated	31831	N m	Steady state driving torque
T0	0.837		Aperiodic torque component
T1	9.234		First order harmonic torque component
T2	0.435		Second order harmonic torque component
a0	14.7		Time constant of aperiodic torque component
a1	13.8		Time constant of first order harmonic torque component
a2	13.8		Time constant of first order harmonic torque component
f	3600	1/min	Grid frequency
phase1	0	deg	Phase angle 1st harmonic torque component
phase2	0	deg	Phase angle 2nd harmonic torque component
Visibility	0		Element Visibility

$$T = \begin{cases} T_{rated}[T_o e^{-a_0 t} + T_1 e^{-a_1 t}\sin(\omega t + \varphi_1) + T_2 e^{-a_2 t}\sin(2\omega t + \varphi_2)], & t > t1 \\ T_{rated}, & t \le t1 \end{cases}.$$

где $Trated$, To, $T1$, $T2$, - крутящий момент двигателя и амплитудные значения компонентов вариации крутящего момента, $a0$, $a1$, $a2$ - временные коэффициенты характеризующие процесс затухания, $\varphi 1$, $\varphi 2$ - фазовые углы, ω - частота сети.