

---

**TEKNIK TADQIQOTLAR JURNALI**  
**ЖУРНАЛ ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**JOURNAL OF TECHNICAL SCIENCE**

---

Нурматов Обид Ёкуббоевич,  
Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова

**АНАЛИЗ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ И СКРУЧИВАЮЩЕГО МОМЕНТА В  
ВАЛОПРОВОДЕ ТУРБОАГРЕГАТА ПРИ АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ**



<http://dx.doi.org/10.26739/2181-9599-2019-1-3>

---

**АННОТАЦИЯ**

В статье приведены описание математической модели электрической системы и результаты расчетного анализа электромеханических переходных процессах на примере Талимарджан ЭС, с целью определения максимальных значений скручивающего момента и крутильных колебаний при асинхронном ходе.

**Ключевые слова:** электромеханические колебания, частота свободных и вынужденных колебаний, эквивалентная частота свободных колебаний ЭМК, низкочастотные колебания.

---

Нурматов Обид Ёкуббоевич,  
Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети

**ТУСАТДАН СОДИР БЎЛАДИГАН КУВВАТ НОБАЛАНСИДА КУЗАЛАТИГАН  
УЗОҚ ДАВОМ ЭТУВЧИ УТКИНЧИ ЖАРАЁНЛАР ТАХЛИЛИ**

**АННОТАЦИЯ**

Ушбу мақолада электр системада эксплуатация даврида учрайдиган нономал режимлардан бири асинхрон юришда синхрон турбогенератор роторига таъсир этаётган буровчи моментнинг ва турбоагрегат ўқида пайдо бўладиган айланма тебранишнинг максимал қийматини аниқлаш ва тахлил қилиш қаралган.

**Калит сўзлар:** электромеханик тебраниш, частатанинг эркин ва мажбурий тебраниши, ЭМТ эквивалент частатанинг эркин тебраниши.

---

Nurmatov Obid Yoqubboyevich,  
Tashkent state technical university named after Islam Karimov

**ANALYSIS OF CONTINUANCES TRANSITION PROCESSES AT ABRUPT  
POWER NO BALANCE**

**ANNOTATION**

Mathematic modeling of electrical power systems for the analysis of continous transition processes is described. Dynamic frequency and power variations affecting the no balance process are reflected in the article.

**Key words:** electromechanical oscillations, frequency of free and forced oscillations, equivalent frequency of free oscillations of EMC, low-frequency oscillations.

**For citation:** Nurmatov Obid Yoqubboyevich. Analysis of continuances transition processes at abrupt power no balance. International Journal of Technical Sciences. 2019, vol. 1, issue 3, pp. 15-19

**Введение:** В настоящее время в связи с объединением крупных энергосистем число слабых межсистемных связей растет, что повышает вероятность возникновения асинхронного режима (АР). В период эксплуатации энергосистем накоплен определенный опыт использования АР как эффективного средства повышения надежности и живучести электроэнергетической системы (ЭЭС).

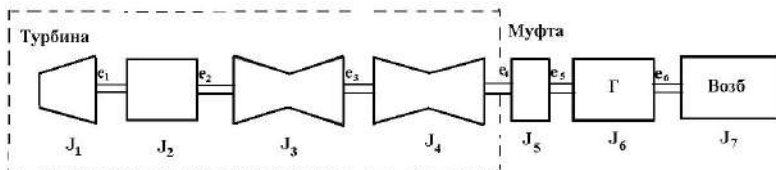
В практике эксплуатации энергосистем встречаются режим работы отдельных турбоблоков или части энергосистемы с частотой скольжения  $fS$  по отношению к остальной части энергосистемы - режимы асинхронного хода.

Наиболее тяжелые режимы асинхронного хода (с сокращением возбуждения) возникают, например, при резких перегрузках генераторов, когда толчок, полученный ротором генератора оказывается достаточным, чтобы генератор выпал из синхронизма, а также при включении синхронного генератора в сеть по методу грубой синхронизации, когда частота вращения может отличаться от синхронной на 2 - 3%. Практика эксплуатации энергосистем показала, что в результате переключения в энергосистемах из-за КЗ в одной из линий частота скольжения возбужденного генератора может достигать 3-5 Гц. При возникновении такого режима станция или часть энергосистемы не теряет связи с остальной энергосистемой и отдает в нее активную мощность.

Анализ и результаты: Асинхронный ход в электрической системе, создавая периодические возмущения для синхронно работающих генераторов, может привести к нарушению синхронной динамической устойчивости и многократному асинхронному ходу в системе. Восстановление синхронизма в системе связано в этом случае с разделением системы на отдельные части, работающей с разной частотой, и дальнейшей их синхронизацией.

Аналитические методы [2,5] изучения больших вынужденных колебаний регулируемой синхронной машины при приложении периодического возмущения к валу машины в простой системе предполагают возможность определения запаса (и выбора способов его увеличения) статической устойчивости послеаварийного режима (в котором допустим длительный асинхронный ход), включающего нарушения устойчивости из-за электромеханического резонанса. Реализации этих возможностей требует установлении соответствия между возмущениями, создаваемыми реальным асинхронным ходам в сложной системе, и принятым аналитической методике [1 - 4].

Расчетные исследования крутильных колебаний валопроводов мощных турбоагрегатов, выполненные в представлении реального валопровода много массовой моделью (рис. 1), показали что величина максимального скручивающего момента в шейке вала между генератором и турбиной при асинхронном ходе может в 1.5-2 раза превышать соответствующие максимальные значения скручивающего момента при трехфазном коротком замыкание на выводах генератора из режима номинальной нагрузки, по которым в настоящее время определяется механической прочностью валопровода и других конструктивных элементов турбоагрегата [3-6].



**Рис. 1. расчетная модель валопровода. Ступени турбины: ВД, СД, НД - высокого, среднего и низкого давления. Роторы: Г -генератора, В -возбудитель**

Наиболее слабым местом на валопроводе является шейки вала между роторами генератора и турбины. При этом уравнение движения участка вала между роторами турбины и генератора с массовыми моментами генерации  $J_1$  и  $J_2$  соответственно при переходных механических процессах для такой модели имеет вид

Наиболее слабым местом на валопроводе является шейки вала между роторами генератора и турбины. При этом уравнение движения участка вала между роторами турбины и генератора с массовыми моментами генерации  $J_1$  и  $J_2$  соответственно при переходных механических процессах для такой модели имеет вид

$$\frac{d^2_{(\Delta M_{\text{СКР}})}}{dt^2} + \omega_1^2 (\Delta M_{\text{СКР}}) = \frac{\Delta M e}{J_1 \lambda_{12}} \quad (1)$$

где  $\omega_1$  – собственная угловая частота крутильных колебаний ротора

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2 \lambda_{12}}}$$

При определенном конструктивном исполнении соединения генератора с возбудителем (торсионный валик) основные собственные частоты крутильных колебаний валопроводов, находящихся в эксплуатации генераторов, могут оказаться достаточно близкими к частоте скольжения и соответственно к частоте периодических составляющих электромагнитного вращающего момента передаваемого на вал. В связи с этим появляется необходимость расчетной проверки механической прочности валопровода турбоагрегата и анализа условий усиления крутильных колебаний валопровода турбогенераторов в режиме асинхронного хода при сохранении связи возбужденного генератора с системой.

Электромагнитный вращающий момент генератора (в долях номинального момента) при асинхронном ходе из режима номинальной нагрузки

$$M_o = M_H + M_{e1m} \sin s\omega t + M_{e2m} \sin 2s\omega t \quad (3)$$

где  $s$  - среднее скольжение;  $\omega$  – синхронная угловая частота;  $t$  – время;  $M_n$  – номинальный вращающий момент генератора;  $M_{e1m}$  - амплитуда основной гармонической вращающего момента при асинхронном ходе генератора;  $M_{e2m}$  – амплитуда второй гармонической электромагнитного вращающего момента. Вызванной несимметрией ротора генератора.

В общем виде  $M_{e1m}$  и  $M_{e2m}$  с приближенным учетом индуктивных параметров системы и трансформатора представляется:

$$M_{e1m} = \frac{1.1UE''}{\cos\varphi_H(X_d'' + X_{TP} + X_C)} \quad (4)$$

$$M_{e2m} = \frac{U^2}{2\cos\varphi_H} \left[ \frac{1}{\operatorname{Re}[Xq(js)] + X_{TP} + X_C} - \frac{1}{\operatorname{Re}[Xd(js)] + X_{TP} + X_C} \right]$$

При проведение анализа в первом приближении для значений  $f = 3 - 5$  Гц может быть принято  $M_{e2m} = 10\%M_{e1m}$  для двухполюсных турбогенераторов мощностью свыше 300 МВт. Расчетные значение составляющих максимального электромагнитного момента генераторов мощностью 200 – 800 МВт при асинхронном ходе приведены в табл. 1.

Номинальная мощность МВТ	$M_{e1m}/M_n$	$M_{e2m}/M_n$	$(M_{e2m}/M_{e1m})100\%$
200	2.25	0.11	4.90
300	2.32	0.17	7.30
800	2.12	0.31	10.0

Поскольку эта  $M_{e2m}$  составляющая пульсируют с двойной частотой скольжения, то в эксплуатации возможны режимы при которых собственная частота крутильных колебаний валопровода окажется достаточно близкой к двойной частоте скольжения. Поэтому представляет практический интерес анализ влияния рассматриваемой составляющей электромагнитного вращающего момента на величину скручивающего момента. Действующего на валопровод турбоагрегата при асинхронном ходе возбужденного генератора.

**Выводы:** Расчеты крутильных колебаний валопровода турбоагрегатов мощностью 200 – 800 МВт при частоте возбуждающего момента 3 – 5 Гц, показал, что пренебрежение второй гармонической вращающего момента, действующего на вал генератора, может привести к существенному занижению максимально возможного возникающего скручивающего момента  $M_{скр}$  и искажена его изменения во времени, если частота собственных крутильных колебаний окажется достаточно близкой к частоте пульсации  $M_{e2m}$ , особенно при длительности асинхронного хода более 1.5 сек.

### Литература:

---

1. Переходные процессы в валопроводах крупных турбогенераторов / Казовский Е. Я., Рубисов Г.В., Аксенова Л. Я., и др. - Электротехника, 1979. № 1. С. 4-7. (Transients in shafting of large turbine generators / Kazovsky E. Ya., Rubisov G.V., Aksenova L. Ya., And others. - Electrical Engineering, 1979. No. 1. P. 4-7.)
2. Рубисов Г.В., Сигаев В. Е. Расчетный метод анализа крутильных колебаний валопровода турбоагрегата // Электротехника. 1986.- № 11. - С.27 -31. (Rubisov, G.V., Sigaev, V.Ye., Computational Method for Analysis of Torsional Oscillations of the Shaft Line of a Turbine Unit, Elektrotehnika. 1986.- № 11. - P.27 -31.)
3. Е. Я. Казовский, Г. В. Рубисов, Л. Я. Аксеново. Крутильные колебания валопроводов турбоагрегатов при асинхронном ходе возбужденного турбогенератора. Электричество 1978 № 10. С. -13 - 19. (Е. Ya. Kazovsky, G.V. Rubisov, L. Ya. Aksenovo. Torsional vibrations of turboaerators during asynchronous operation of an excited turbogenerator. Electricity 1978 № 10. S. -13 - 19.)
4. И. В. Литкенс, В. И. Пуго. Колебательные свойства электрических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 216 с.: ил. (I. V. Litkens, V. I. Pugo. Oscillatory properties of electrical systems. - M. : Energoatomizdat, 1988. - 216 pp., Ill.)
5. А. В. Добагян, Л. В. Шипулина, Г. Н. Сердюков. Крутильные колебания роторов турбоагрегата при различных аномальных режимах // Электротехника. 1074. № 3. С. 1 - 3. (A.V. Dobagyan, L.V. Shipulina, G.N. Serdyukov. Torsional vibrations of the rotors of the turbine unit under various abnormal conditions // Electrical Engineering. 1074. № 3. S. 1 - 3.)
6. Асаинов Д.Н. Короткие замыкания в электроэнергетической системе с газотурбинными установками малой мощности // Научно - исследовательские проблемы в области энергетики и энергосбережения. Материалы докладов Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи. Уфа, 2 - 3 ноябрь 2010 г. Уфа УГАТУ, 2010. (Asainov D.N. Short circuits in the electric power system with gas-turbine installations of low power // Scientific-research problems in the field of energy and energy saving. Materials reports All-Russian conference with elements of a scientific school for young people. Ufa, 2 - 3 November 2010 Ufa USATU, 2010.)