

УДК 621.438

А. А. ТАРАСЕНКО

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина

ДИНАМИКА МАЛООБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ РАБОТАЮЩЕГО В СОСТАВЕ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

Рассматривается дизель-генератор, состоящий из малооборотного дизеля (МОД) и трехфазного генератора (возможен генератор постоянного тока). Анализируется случай резкого повышения нагрузки на генератор. Такая ситуация может возникнуть если при автономной работе электростанции один из агрегатов останавливается аварийно. Рассмотрена работа турбонаддувочного агрегата с ресиверами компрессора и турбины. При рассмотрении дизеля была учтена модель регулятора скорости. Регулятор пропорциональный с наклоном характеристики 4%. Приведены графики переходных процессов для случая резкого увеличения нагрузки.

Ключевые слова: дизель, турбонаддувочный агрегат, регулятор скорости, генератор, увеличение нагрузки.

Введение

Электростанции на основе дизель - генераторов с малооборотными дизелями (МОД) построены и эксплуатируются [1].

Таблица 1

Данные по электростанциям с МОД

Кол-во ДВС	Тип МОД (ГОСТ) Год постройки	Мощность, МВт	Место, где размещена электростанция
1	12K80MC-S 12ДКРН 80/230 2011	43	Comision Federal de Electricidad La Paz, Baja California Sur III, Mexico
2	12K80MC-S 12ДКРН 80/230 2012	81	Autoridad del Canal de Panama Miraflores Thermal Power Plant
1	6S35SX 6ДКРН 35/140 2013	2,3	Comision Federal de Electricidad La Paz, Baja California Sur IV, Mexico
1	12K80MC-S 12ДКРН 80/230 2014	42,3	Blue-NG, Southall, UK
1	7K60MC-S 7ДКРН 60/174 2014	13,9	Blue-NG, Beckton, UK
1	12K80MC-S9 12ДКРН 80/230 2015	47,8	Comision Federal de Electricidad La Paz, Baja California Sur V, Mexico
2	12K60MC-S 12ДКРН 60/174 2016	47,5	Eritrea Electric Authority Massawa, Eritrea
1	7K60MC-S 12ДКРН 60/174 2016	12,4	National Water & Electricity Company Limited, Banjul, Kotu Extension, Gambia

Из таблицы 1 видно, что построено восемь электростанций состоящих из одного двух агрегатов.

Если электростанция работает в сеть со стабильной частотой, то проблем не возникает. В случае автономной работы интерес представляют резкие сбросы и увеличение нагрузки на генератор. Настоящая статья посвящена переходным процессам в системе малооборотный дизель (МОД) – генератор при скачкообразных изменениях нагрузки на генератор.

1. Формулирование проблемы

Требуется получить систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих параметры системы дизель-генератор в условиях мощного воздействия на генератор. При формировании модели малооборотного дизеля необходимо использовать дифференциальные уравнения, описывающие турбонаддувочный агрегат и его пневматические емкости [4]. Разрабатываемая математическая модель должна включать в себя модель регулятора скорости дизеля. Полученная система обыкновенных дифференциальных уравнений должна решаться численным методом на ЭВМ.

Цель работы – разработка математической модели малооборотного дизеля в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений, реализация этой модели на ЭВМ путем численного решения дифференциальных уравнений и сравнительные расчеты на ЭВМ.

1.1 Общие соотношения

Схема дизель – генератора на основе МОД показана на рис. 1.

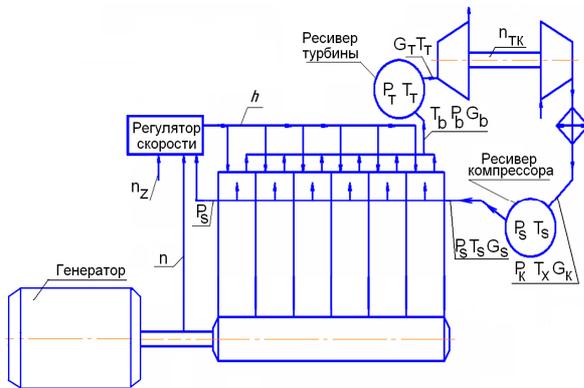


Рис. 1. Схема дизель – генератора на основе МОД

На рис. 1 показана схема дизель – генератора на основе МОД и схема связей между отдельными агрегатами. На рис. 1 приняты следующие обозначения:

- G_S – расход продувочного воздуха;
- P_S – давление в ресивере компрессора;
- T_S – температура воздуха в ресивере компрессора;
- P_T – давление газа в ресивере турбины;
- T_T – температура газа в ресивере турбины;
- G_T – расход газа на входе турбину;
- P_b – давление газа в точке «b» индикаторной диаграммы;
- T_b – температура газа в точке «b» индикаторной диаграммы;
- G_b – расход газа в точке «b» индикаторной диаграммы;
- P_K – давление за компрессором;
- G_K – расход компрессора;
- T_X – температура за охладителем воздуха;
- n – скорость вращения дизеля;
- n_z – заданная скорость вращения дизеля (задается оператором);
- h – относительная подача топлива (индекс топливного насоса) – задается регулятором скорости;
- n_{TK} – скорость вращения турбокомпрессора (турбонаддувочного агрегата).

Малооборотный дизель (МОД) прямо действует на генератор. Вырабатываемая МОД мощность определена топливоподачей h (индексом рейки топливного насоса). Топливоподачу h определяет регу-

лятор скорости. Этот регулятор учитывает давление в ресивере продувочного воздуха и осуществляет ограничение топливоподачи

Следует отметить, что автор не претендует на создание методик для проектирования дизелей, генераторов и турбонаддувочных агрегатов. Автор считает, что дизель – генератор укомплектован готовыми агрегатами с известными параметрами номинального режима и известными характеристиками.

1.2 Особенности численного решения

Разрабатываемую систему дифференциальных уравнений планируется решить численным методом. В качестве численного метода можно использовать метод Хемминга или Рунге–Кутты. Во всех этих методах задача программиста – по известным значениям параметров найти первые производные этих параметров. Иными словами – числовые значения неизвестных переменных выдает численный метод, а задача программиста, получив эти числовые значения, вычислить первые производные.

В качестве переменных, первые производные которых требуется найти, используются следующие величины:

- φ – угол поворота коленчатого вала дизеля;
- n – скорость вращения дизеля;
- n_{TK} – скорость вращения турбокомпрессора;
- m_{PT} – масса газа в ресивере турбины;
- $L_{PT} = m_{PT} / \mu_{PT}$ – количество газа в ресивере турбины в молях;
- T_T^* – температура газа в ресивере турбины;
- P_S^* – давление в ресивере компрессора.

Следовательно, математическая модель малооборотного дизеля состоит из семи дифференциальных уравнений первого порядка. Остальные параметры определены алгебраическими уравнениями.

Для создания математической модели малооборотного дизеля достаточно рассмотреть каждую составляющую этого комплекса.

1.3 Генератор

Крутящий момент на валу генератора рассматривается как исходное данное. Относительное значение этого момента в пределах $\bar{M}_Г = 0 - 1, 2$.

1.4 Турбонаддувочный агрегат и дизель

Уравнения, записанные в [2] для газотурбинного двигателя и записанные в [3] для турбонаддувочного агрегата судового малооборотного дизеля и

пять уравнений пригодны для рассматриваемого случая. Дизель даст еще два диф. Уравнения

$$\dot{\bar{h}} = \frac{\bar{P}_e - \bar{M}_\Gamma}{\tau_D} ; \dot{\phi} = n.$$

P_e – эффективное давление. Это давление определяется путем анализа индикаторной диаграммы. Иногда \bar{P}_e отождествляют с \bar{h}

1.5 Индикаторная диаграмма

Анализ индикаторной диаграммы необходим для определения параметров потока в точке «b» и среднего эффективного давления. Индикаторная диаграмма рассматривается по В. И. Гриневецкому – Е. К. Мазингу по аналогии с [3].

Исходными данными для расчета индикаторной диаграммы являются следующие параметры:

n_D – скорость вращения дизеля на номинальном режиме;

N_{cil} – цилиндровая мощность (мощность одного цилиндра) дизеля на номинальном режиме;

b_e – удельный расход топлива (в кг/(кВт час)) дизеля на номинальном режиме;

η_{mex} – механический кпд двигателя;

D_{cil} – диаметр цилиндра;

S – ход поршня;

P_S – давление в ресивере компрессора на номинальном режиме;

ε – геометрическая степень сжатия;

T_X – температура воздуха за охладителем воздуха на номинальном режиме.

Результаты расчетов показаны на рис. 3.

На рис. 3 следующие обозначения:

P_K – давление воздуха за компрессором (бары);

P_T – давление газа в ресивере турбины (бары);

t_T – температура газа в ресивере турбины (С);

t_b – температура газа в точке «b» индикаторной диаграммы (С);

\bar{n} – скорость вращения дизеля (отнесенная к номиналу);

\bar{n}_{TK} – скорость вращения турбокомпрессора (турбонаддувочного агрегата) (отнесенная к номиналу);

k – коэффициент адиабаты в ресивере турбины;

\bar{P}_e – эффективное давление (отнесенное к номиналу);

$\alpha_{ц}$ и α_T – коэффициенты избытка воздуха в цилиндре и в ресивере турбины.

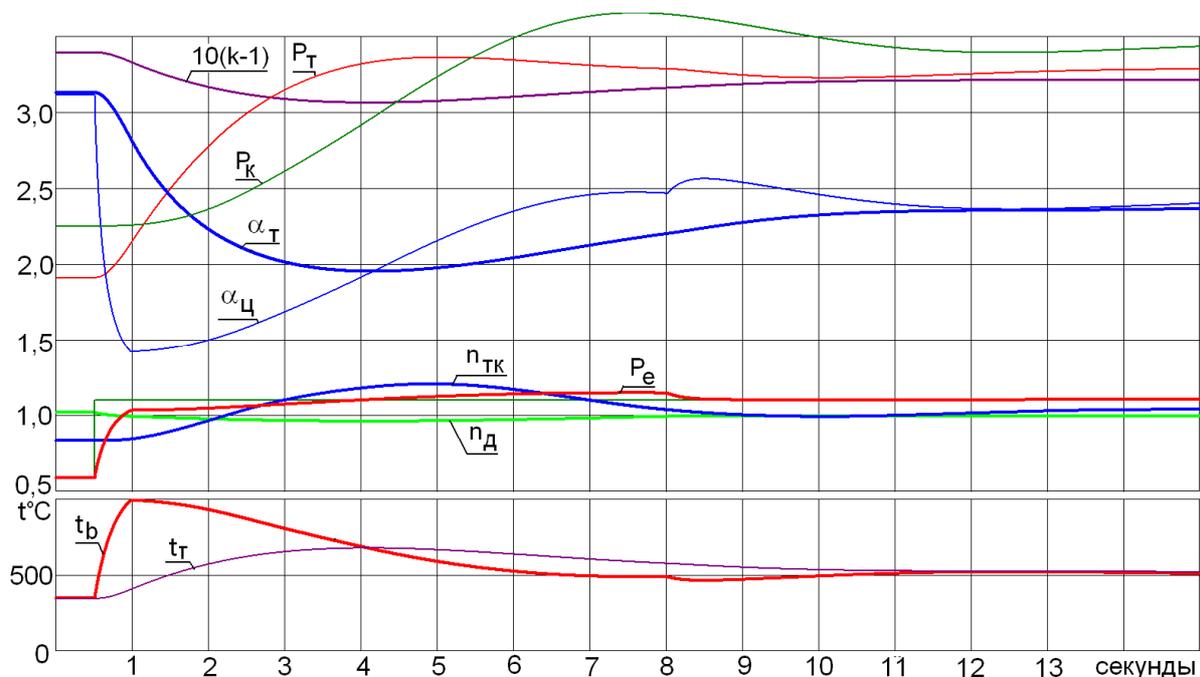


Рис. 3. Переходный процесс при увеличении нагрузки на генератор

Заключение

Выполненные на ЭВМ по разработанной методике расчеты позволяют сделать следующие выводы.

Выводы

На участке, где давление перед турбиной больше давления за компрессором, дизель может заглохнуть из-за срыва продувки.

Литература

1. *Reference List Two-stroke Stationary Uniflow Diesel Engines [Text] // MAN B&W Diesel A/S. – Copenhagen, Denmark, 2016. – 12 p.*

2. *Тарасенко, А. И. Широкодиапазонная динамическая модель ГТД [Текст] / А. И. Тарасенко, А. А. Тарасенко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 9 (96). – С. 243–247.*

3. *Тарасенко, А. И. Нестационарные крутильные колебания дизеля с учетом переменности момента инерции отсека [Текст] / А. И. Тарасенко, А. А. Тарасенко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. – № 8 (135). – С. 61–66.*

References

1. *Reference List Two-stroke Stationary Uniflow Diesel Engines. MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark Publ., 2016. 12 p.*

2. *Tarasenko, A. I., Tarasenko A. A Shirokodiapazonnaja dinamicheskaja model' GTD [Full-range dynamic GTE model]. Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija, 2012, no. 9 (96), pp. 243–247.*

3. *Tarasenko, A. I., Tarasenko A. A Nestacionarnye krutil'nye kolebanija dizelja s uchetom peremennosti momenta inercii otseka [Transient torsional vibrations of diesel given the variability of the moment of inertia of the compartment]. Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija, 2016, no. 8 (135), pp. 61–66.*

Поступила в редакцию 24.05.2017, рассмотрена на редколлегии 9.06.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н. И. Радченко, Национальный университет кораблестроения, Николаев.

ДИНАМІКА МАЛООБЕРТОВОГО ДИЗЕЛЯ ПРАЦЮЮЧОГО У СКЛАДІ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

А. О. Тарасенко

Розглядається дизель-генератор, який складається з мало обертового дизеля (МОД) і трьохфазного генератора (можливо застосування генератора постійного струму). Аналізується випадок різкого підвищення потужності генератору. Така ситуація може статися якщо при автономній роботі електростанції один з агрегатів зупинився аварійно. Розглянуто турбонаддувочний агрегат з ресиверами компресора та турбіни. При розгляданні дизеля було враховано модель регулятора швидкості. Регулятор пропорційний з нахилом характеристики 4%. Наведено графіки перехідних процесів при різкому збільшенні навантаження.

Ключові слова: дизель, турбонаддувочний агрегат, регулятор швидкості, генератор, підвищення навантаження.

DYNAMICS OF THE LOW-SPEED DIESEL ENGINE OPERATING FOR A DIESEL GENERATOR

A. A. Tarasenko

We consider a diesel generator consisting of a low-speed diesel engine and a three-phase generator (a DC generator is possible). The case of a sharp increase in the load on the generator is analyzed. This situation can arise if one of the units stops abnormally when the power plant is running autonomously. The work of a turbo-supercharging unit with receivers of a compressor and a turbine is considered. When considering the diesel, the model of the speed controller was taken into account. The regulator is proportional with a slope of 4%. The graphs of the transient processes for the case of a sharp increase in the load are provided.

Keywords: diesel, turbo-supercharging unit, speed regulator, generator, load increase.

Тарасенко Андрей Александрович – аспирант кафедры теоретической механики Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: tai777@ukrpost.net.

Tarasenko Andrei Aleksandrovich – postgraduate of Dept. of Theoretical Mechanics, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine, e-mail: tai777@ukrpost.net.