

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО КОРОННОГО РАЗРЯДА НА СОДЕРЖАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ

Марченко А.П., Бойко Н.И., Осетров А.А. (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»)

Оксиды азота NO_x наряду с твердыми частицами являются наиболее опасными нормируемыми компонентами отработавших газов (ОГ) дизельных ДВС [1-3]. Поэтому вопросам борьбы с выбросами NO_x уделяется большое внимание.

Известные способы уменьшения эмиссии NO часто ухудшают термодинамический КПД цикла, требуют больших затрат на восстановление NO в нейтрализаторах, либо мало эффективны.

В последние годы появились работы, в которых рассматривается воздействие на продукты сгорания электрических разрядов, например, коронного разряда и барьерного разряда [4-6]. В данной работе рассматривается воздействие импульсного коронного разряда (ИКР) на оксиды азота, монооксид углерода и молекулярный кислород, содержащиеся в отработавших газах дизельного двигателя 4ЧН12/14.

Схема экспериментального стенда показана на рис. 1. Из выхлопной системы дизеля отбирались отработавшие газы для их обработки импульсным коронным разрядом. Расход газов через реактор изменялся с помощью регулировочного крана 8. На выходе из реактора газоанализатором Окси-5М производилось измерение объемного содержания в ОГ O_2 , CO , NO и NO_2 , а также рассчитывалась сумма $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$.

Испытания проводились на установившихся режимах работы двигателя, представленных в табл. 1. После проведения цикла испытаний изменяли угол опережения впрыскивания θ и цикл повторяли. Эксперименты проводились при двух значениях θ – 18 и 23,5 гр. п.к.в. до ВМТ.

Табл. 1. Режимы работы дизеля.

№№ режимов	1	2	3	4	5
Ne, кВт	6,43	6,98	46,25	50,31	70,68
n, мин ⁻¹	1750	1900	1750	1900	1750

На каждом режиме измерялось содержание компонентов в ОГ при выключенном реакторе. Затем реактор включали и производили повторные измерения. Цикл измерений повторяли при выключенном и включенном реакторе.

Зависимости концентраций компонентов отработавших газов от эффективной мощности при углах опережения впрыскивания 18 и 23,5 гр. п.к.в. до ВМТ показаны соответственно на рис. 2 и 3.

При каждом включении реактора ИКР концентрации монооксида углерода, монооксида и диоксида азота начинали изменяться и стабилизировались за период около 30 с. В то же время концентрация молекулярного кислорода в отработавших газах практически не изменялась. Тенденция влияния ИКР на эту концентрацию в условиях данного эксперимента не выявлена.

Зато обнаружено однозначное влияние ИКР на содержание в ОГ CO , NO и NO_2 . Видно, что концентрация CO увеличивается на 2-20 чнм (в 1,01–1,08 раза), NO_2 увеличивается на 40-60 чнм (в 1,7–2,4 раза), а NO уменьшается на 70–130 чнм (в 1,2–3,8 раза). Суммарная концентрация оксидов азота (сумма NO и NO_2) уменьшается на 18–90 чнм (в 1,1–1,4 раза). Это уменьшение свидетельствует о том, что

параллельно идут процессы доокисления NO до NO₂ и образование N₂ из NO и NO₂.

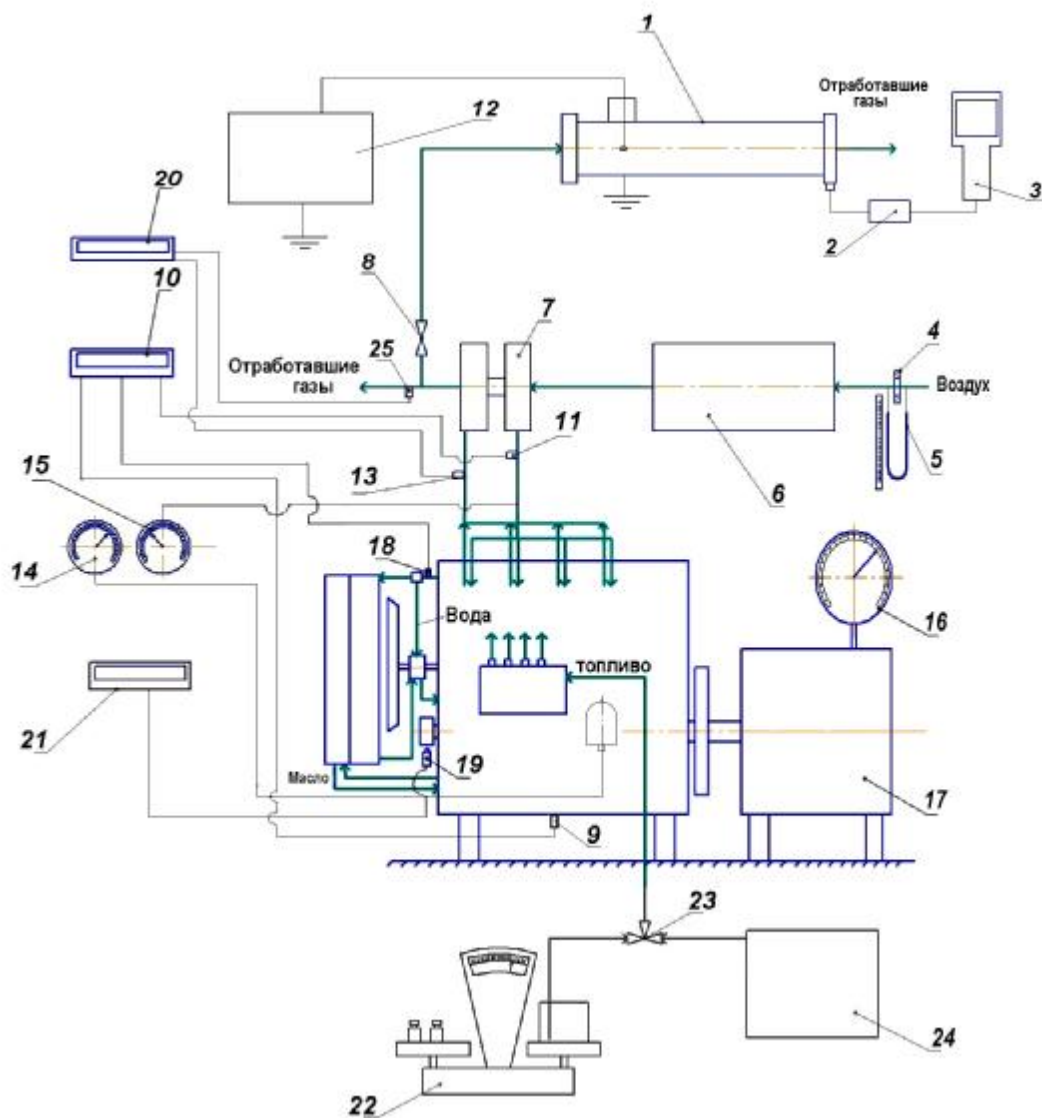


Рис.1. Схема испытательного стенда:

- 1- реактор ИКР; 2- фильтр газоанализатора; 3 – газоанализатор Окси-5М; 4 – мерная шайба; 5 – U-образный манометр; 6 – воздушный ресивер; 7 – турбокомпрессор; 8 – кран перепуска ОГ на реактор ИКР; 9, 11, 18 – термометры сопротивления; 10 – измерительный комплекс для регистрации температур воды, масла, воздуха после компрессора; 12 – генератор высоковольтных импульсов; 13, 25 – термоэлектрические пирометры; 14 – манометр измерения давления масла; 15 – манометр измерения давления воздуха после компрессора; 16 – весовое устройство измерения нагрузки; 17 – электрическое нагрузочное устройство; 19 – индуктивный датчик частоты вращения; 20 – измерительный комплекс для регистрации температур отработавших газов до и после турбины; 21 - тахометр; 22 – весовое устройство для измерения расхода топлива; 23 – трехходовой кран; 24 – бак с топливом.

Отмеченное влияние можно объяснить следующим. В потоке ОГ, проходящем через ИКР, увеличивается содержание реакционно-активных возбужденных молекул, ионов и радикалов, активно реагирующих с другими молекулами и между со-

бой. В частности молекула NO расщепляется в коронном разряде электронным ударом (при достаточной энергии у электронов) на атомы N и O. Атомарный кислород, как активный окислитель, вступает в реакцию с сажей и другими продуктами неполного сгорания, а также монооксидом азота, окисляя их. Как результат – в продуктах сгорания увеличивается содержание NO₂, CO и CO₂. Атомы азота, в свою очередь, реагируют между собой или с NO, образуя молекулярный азот.

Из рис. 2, 3 видно, что при уменьшении угла θ на 5,5 гр. п.к.в. концентрация NO_x в ОГ снижается в 1,2–1,4 раза.

Потребляемая из сети мощность генератором высоковольтных импульсов с ИКР-реактором в ходе эксперимента составила ≈ 100 Вт (напряжение заряда низковольтных накопителей ГВВИ – 65 В, ток заряда низковольтных накопителей ГВВИ – 1,4 А). Единоразово в ходе эксперимента был увеличен рабочий ток заряда низковольтных накопителей ГВВИ с 1,3–1,4 А до 1,5 А. Концентрация NO при этом уменьшилась в 4 раза – с 40 чнм до 10 чнм. Можно предположить, что дальнейшее увеличение мощности реактора приведет к повышению эффективности нейтрализации оксидов азота. Вероятно, что концентрация в ОГ продуктов неполного сгорания (CO, CH, твердых частиц) также снизится.

В конце эксперимента (примерно через 5 часов работы) в реакторе начались пробои зазора (промежутка) между коронирующим (высоковольтным) электродом и заземлённым низковольтным электродом реактора. После разборки реактора оказалось, что в указанном зазоре образовались углеродные нити, которые и замыкали электрическую цепь. Очевидно, что при дальнейших исследованиях обязательным является использование сажевых фильтров, снижающих концентрацию сажи в ОГ.

Обнаруженный положительный эффект снижения концентрации NO в ОГ можно успешно использовать в установках, оснащенных восстановительными каталитическими нейтрализаторами, более эффективно восстанавливающими диоксид азота NO₂, чем оксид азота NO.

Если установить реактор в зону с более высокими температурами, то реакции окисления сажи и других продуктов неполного сгорания будут протекать более интенсивно, а образование NO₂ уменьшится.

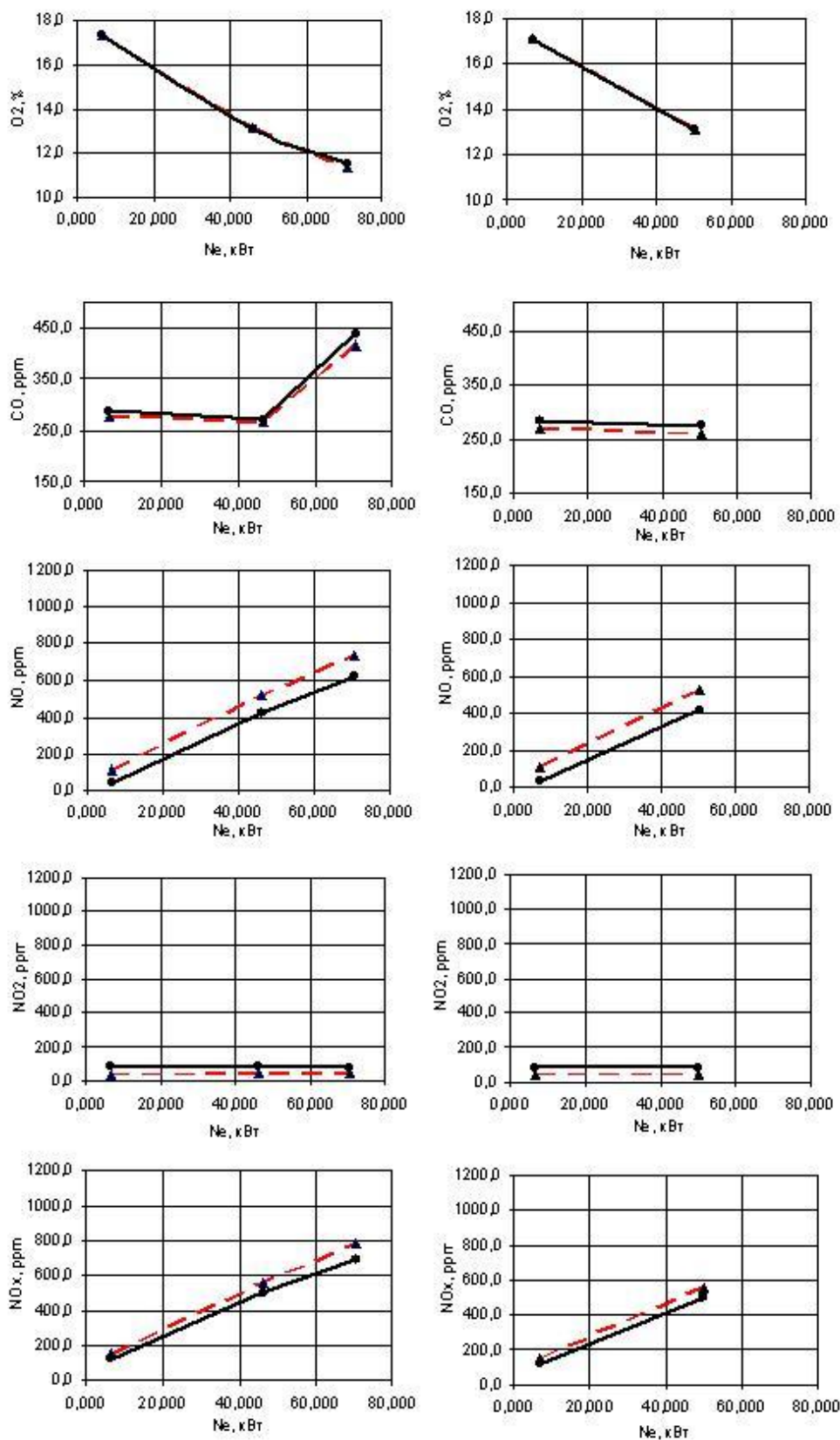
В следующих работах по исследованию влияния ИКР на процессы в двигателях планируется выявить наиболее эффективные режимы работы реактора ИКР в составе выпускной системы дизеля. Предполагается определить влияние расхода ОГ через реактор, мощности ИКР, величины рабочего напряжения реактора, наличия катализаторов на электродах и других факторов на эффективность нейтрализации ОГ, дать теоретическое обоснование полученным эффектам.

Выводы

В работе экспериментально на стенде с дизельным двигателем 4ЧН12/14 показан эффект снижения концентрации NO, а также суммы NO и NO₂ в отработавших газах дизельного двигателя при их обработке импульсным коронным разрядом. Вместе с тем, содержание CO и NO₂ в продуктах сгорания на опробованных режимах ИКР увеличилось.

Литература:

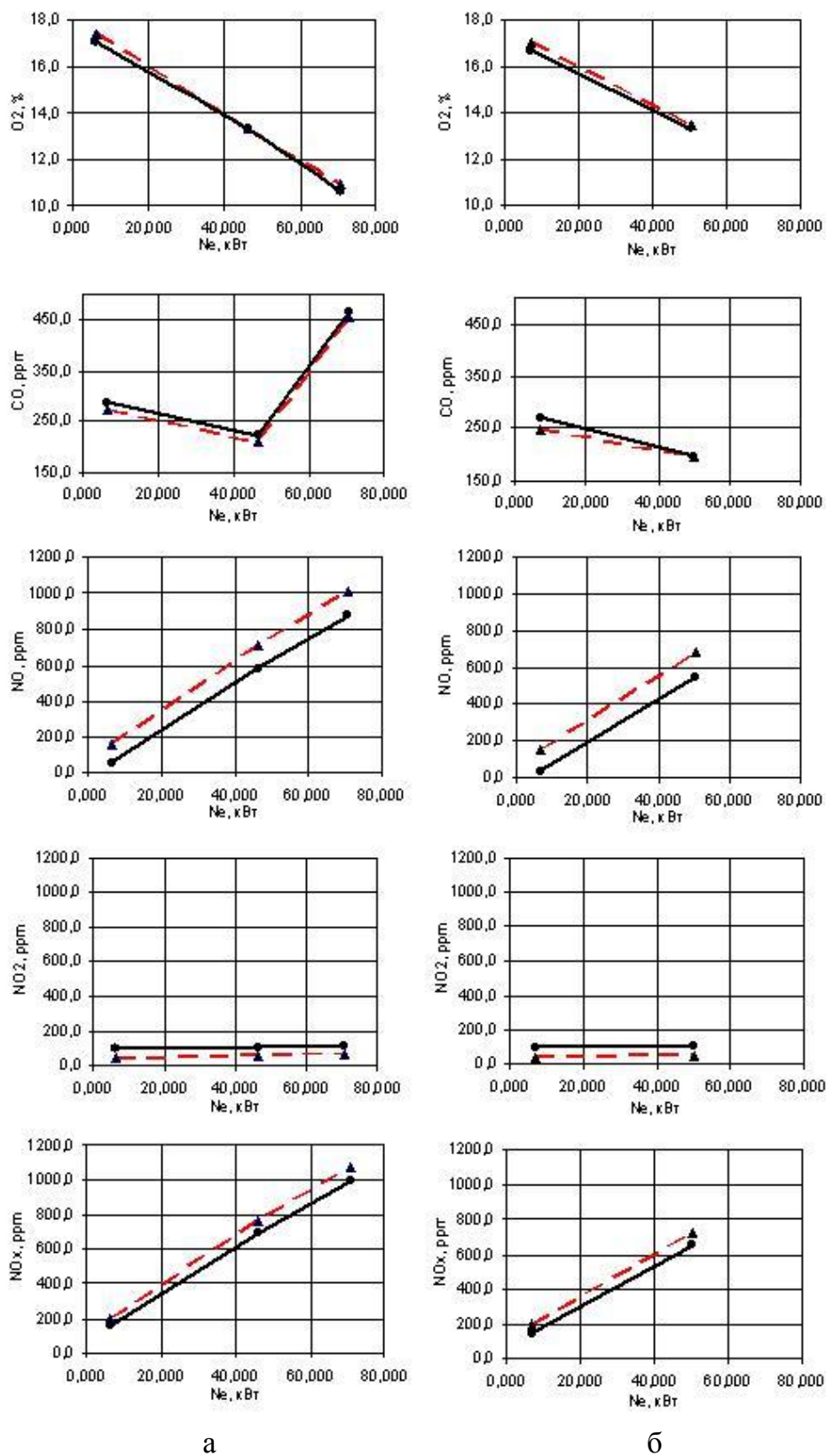
1. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. -М.: Машиностроение, 1981. - 160 с.
2. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.- 376 с.



а

б

Рис. 2. Влияние нагрузки на содержание O_2 , CO , NO , NO_2 и NO_x в отработавших газах дизеля при установочном угле опережения впрыскивания $\theta = 18$ гр. п.к.в. и частотах вращения коленчатого вала 1750 мин^{-1} (а) и 1900 мин^{-1} (б): $\text{---}\blacktriangle\text{---}$ - реактор ИКР выключен; $\text{—}\bullet\text{—}$ - реактор ИКР включен.



а

б

Рис. 3. Влияние нагрузки на содержание O₂, CO, NO, NO₂ и NO_x в отработавших газах дизеля при установочном угле опережения впрыскивания $\theta = 23,5$ гр. п.к.в. и частотах вращения коленчатого вала 1750 мин⁻¹ (а) и 1900 мин⁻¹ (б): -▲- - реактор ИКР выключен; —●— - реактор ИКР включен.

3. Кульчицкий А.Р. – Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. – Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2000. – 256 с.

4. M. Yamada, Y Ehara, T Ito, NOx removal by using saw tooth-shaped electrodes. – Papers of Techn. Meet. Electr. Disch. Japan. IEE, 1999. – V. Ed.-99. – No. 94-108. – P. 1-6.

5. Чаплинский Р.Ю., Кузьмичёв А.И., Вольпян О.Д., Лещишин А.В., Веремейченко Г.Н. Применение плазменной электроники и фотоники для улучшения экологии дизельных двигателей // Электроника и связь. 3 тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». – 2010. - С.96-100.

6. Бойко Н.И., Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Иванов В.М и др. Импульсный коронный разряд с расширенной зоной ионизации: физические основы получения и перспективные области применения // Електротехніка і електромеханіка. – 2004. - № 3. – С. 98-104.

ОБ УЧЁТЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Авдеев К.А., Агуреев И.Е., Хмелёв Р.Н. (Тульский государственный университет);

Особенностью процесса сгорания в дизельных двигателях, в отличие от бензиновых, является наличие двух максимумов скорости тепловыделения [1]. Поэтому при моделировании рабочего процесса дизельного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) применяют известную феноменологическую модель Вибе [2]. При этом кривая тепловыделения разбивается на два участка, для каждого из которых подбираются соответствующие коэффициенты Вибе. Использование подобного подхода позволяет рассчитывать характеристики тепловыделения с удовлетворительной точностью. Однако модель Вибе не позволяет установить в явном виде связь параметров системы топливоподачи с характеристикой тепловыделения и выходными характеристиками двигателя, что ограничивает возможность её практического применения для расчётов рабочего процесса двигателя при его проектировании.

Из изложенного следует целесообразность учёта особенностей процесса тепловыделения в динамической модели дизельного ДВС, что позволит применять её для проведения расчётов рабочего процесса, например, на этапе эскизного проектирования.

Динамическая модель, позволяющая учесть особенности тепловыделения в дизельном двигателе, включает уравнения [3, 4]:

- термодинамической подсистемы:

$$\frac{du_n}{dt} = f_n(u_n, r_n, j_n, w_n, G_{nik}, x); \quad (1)$$

$$\frac{dr_n}{dt} = f_n(u_n, r_n, j_n, w_n, G_{nik}, x); \quad (2)$$

- механической подсистемы:

$$\frac{dw_n}{dt} = f_n(r_n, j_n, w_n, M_n, x); \quad (3)$$

$$\frac{dj_n}{dt} = f_n(r_n, j_n, w_n, M_n, x); \quad (4)$$

- функциональных подмоделей процессов рабочего цикла:

$$G_{nik} = f_{nik}(u_n, r_n, j_n, w_n, G_{nik}, x); \quad (5)$$