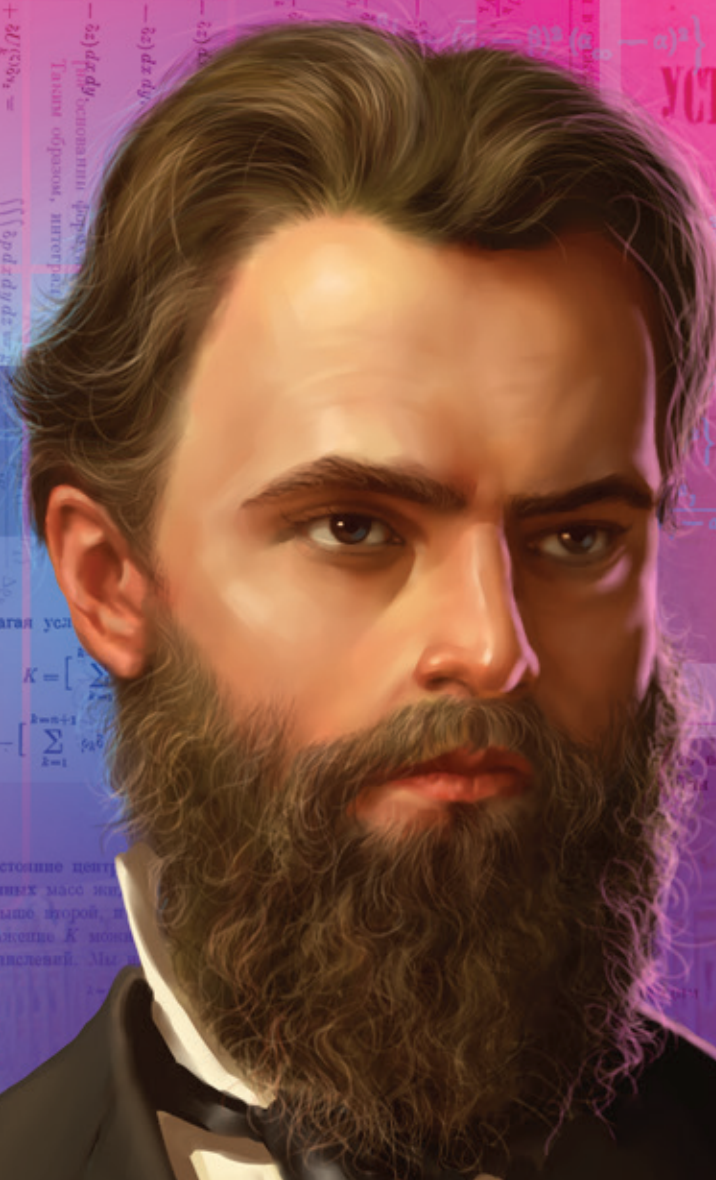


МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

Учёный

ежемесячный научный журнал



ОБЩАЯ ЗАДАЧА

УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ.

ОБ ОДНОМ ТРАНСЦЕНДЕНТНОМ УРАВНЕНИИ И О ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЯХ ВТОРОГО ПОРЯДКА С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

Comptes rendus de l'Academie des sciences, Paris, 1899, t. CXXVIII, p. 1073-1076.
В моей предыдущей заметке (Comptes Rendus, 1899, 10 августа) я привела некоторые предложения о корнях уравнения

$$W_k - a_k \frac{y_1}{y_1 - a_1} \cdot \frac{y_2}{y_2 - a_2} \cdot \frac{y_3}{y_3 - a_3} \cdot \frac{y_4}{y_4 - a_4} \cdot \frac{y_5}{y_5 - a_5} \cdot \frac{y_6}{y_6 - a_6} \cdot \frac{y_7}{y_7 - a_7} \cdot \frac{y_8}{y_8 - a_8} \cdot \frac{y_9}{y_9 - a_9} \cdot \frac{y_{10}}{y_{10} - a_{10}} \cdot \frac{y_{11}}{y_{11} - a_{11}} \cdot \frac{y_{12}}{y_{12} - a_{12}} \cdot \frac{y_{13}}{y_{13} - a_{13}} \cdot \frac{y_{14}}{y_{14} - a_{14}} \cdot \frac{y_{15}}{y_{15} - a_{15}} \cdot \frac{y_{16}}{y_{16} - a_{16}} \cdot \frac{y_{17}}{y_{17} - a_{17}} \cdot \frac{y_{18}}{y_{18} - a_{18}} \cdot \frac{y_{19}}{y_{19} - a_{19}} \cdot \frac{y_{20}}{y_{20} - a_{20}} \cdot \frac{y_{21}}{y_{21} - a_{21}} \cdot \frac{y_{22}}{y_{22} - a_{22}} \cdot \frac{y_{23}}{y_{23} - a_{23}} \cdot \frac{y_{24}}{y_{24} - a_{24}} \cdot \frac{y_{25}}{y_{25} - a_{25}} \cdot \frac{y_{26}}{y_{26} - a_{26}} \cdot \frac{y_{27}}{y_{27} - a_{27}} \cdot \frac{y_{28}}{y_{28} - a_{28}} \cdot \frac{y_{29}}{y_{29} - a_{29}} \cdot \frac{y_{30}}{y_{30} - a_{30}} \cdot \frac{y_{31}}{y_{31} - a_{31}} \cdot \frac{y_{32}}{y_{32} - a_{32}} \cdot \frac{y_{33}}{y_{33} - a_{33}} \cdot \frac{y_{34}}{y_{34} - a_{34}} \cdot \frac{y_{35}}{y_{35} - a_{35}} \cdot \frac{y_{36}}{y_{36} - a_{36}} \cdot \frac{y_{37}}{y_{37} - a_{37}} \cdot \frac{y_{38}}{y_{38} - a_{38}} \cdot \frac{y_{39}}{y_{39} - a_{39}} \cdot \frac{y_{40}}{y_{40} - a_{40}} \cdot \frac{y_{41}}{y_{41} - a_{41}} \cdot \frac{y_{42}}{y_{42} - a_{42}} \cdot \frac{y_{43}}{y_{43} - a_{43}} \cdot \frac{y_{44}}{y_{44} - a_{44}} \cdot \frac{y_{45}}{y_{45} - a_{45}} \cdot \frac{y_{46}}{y_{46} - a_{46}} \cdot \frac{y_{47}}{y_{47} - a_{47}} \cdot \frac{y_{48}}{y_{48} - a_{48}} \cdot \frac{y_{49}}{y_{49} - a_{49}} \cdot \frac{y_{50}}{y_{50} - a_{50}} \cdot \frac{y_{51}}{y_{51} - a_{51}} \cdot \frac{y_{52}}{y_{52} - a_{52}} \cdot \frac{y_{53}}{y_{53} - a_{53}} \cdot \frac{y_{54}}{y_{54} - a_{54}} \cdot \frac{y_{55}}{y_{55} - a_{55}} \cdot \frac{y_{56}}{y_{56} - a_{56}} \cdot \frac{y_{57}}{y_{57} - a_{57}} \cdot \frac{y_{58}}{y_{58} - a_{58}} \cdot \frac{y_{59}}{y_{59} - a_{59}} \cdot \frac{y_{60}}{y_{60} - a_{60}} \cdot \frac{y_{61}}{y_{61} - a_{61}} \cdot \frac{y_{62}}{y_{62} - a_{62}} \cdot \frac{y_{63}}{y_{63} - a_{63}} \cdot \frac{y_{64}}{y_{64} - a_{64}} \cdot \frac{y_{65}}{y_{65} - a_{65}} \cdot \frac{y_{66}}{y_{66} - a_{66}} \cdot \frac{y_{67}}{y_{67} - a_{67}} \cdot \frac{y_{68}}{y_{68} - a_{68}} \cdot \frac{y_{69}}{y_{69} - a_{69}} \cdot \frac{y_{70}}{y_{70} - a_{70}} \cdot \frac{y_{71}}{y_{71} - a_{71}} \cdot \frac{y_{72}}{y_{72} - a_{72}} \cdot \frac{y_{73}}{y_{73} - a_{73}} \cdot \frac{y_{74}}{y_{74} - a_{74}} \cdot \frac{y_{75}}{y_{75} - a_{75}} \cdot \frac{y_{76}}{y_{76} - a_{76}} \cdot \frac{y_{77}}{y_{77} - a_{77}} \cdot \frac{y_{78}}{y_{78} - a_{78}} \cdot \frac{y_{79}}{y_{79} - a_{79}} \cdot \frac{y_{80}}{y_{80} - a_{80}} \cdot \frac{y_{81}}{y_{81} - a_{81}} \cdot \frac{y_{82}}{y_{82} - a_{82}} \cdot \frac{y_{83}}{y_{83} - a_{83}} \cdot \frac{y_{84}}{y_{84} - a_{84}} \cdot \frac{y_{85}}{y_{85} - a_{85}} \cdot \frac{y_{86}}{y_{86} - a_{86}} \cdot \frac{y_{87}}{y_{87} - a_{87}} \cdot \frac{y_{88}}{y_{88} - a_{88}} \cdot \frac{y_{89}}{y_{89} - a_{89}} \cdot \frac{y_{90}}{y_{90} - a_{90}} \cdot \frac{y_{91}}{y_{91} - a_{91}} \cdot \frac{y_{92}}{y_{92} - a_{92}} \cdot \frac{y_{93}}{y_{93} - a_{93}} \cdot \frac{y_{94}}{y_{94} - a_{94}} \cdot \frac{y_{95}}{y_{95} - a_{95}} \cdot \frac{y_{96}}{y_{96} - a_{96}} \cdot \frac{y_{97}}{y_{97} - a_{97}} \cdot \frac{y_{98}}{y_{98} - a_{98}} \cdot \frac{y_{99}}{y_{99} - a_{99}} \cdot \frac{y_{100}}{y_{100} - a_{100}}$$

повышая под A характеристическую постоянную дифференциального уравнения

где $p(x)$ — заданная непрерывная периодическая функция периода ω , α и β произвольный параметр, которыми α и β независимы и $\alpha \neq \beta$ в уравнении (1).

Эти предложения относятся к тем случаям, когда функции $p(x)$ и α не меняют знака. Теперь я хочу сообщить некоторые предложения, относящиеся к более общему случаю, когда $p(x)$ может менять знак.

Пусть ω — период функции $p(x)$, а α и β — два каких-либо чисел и $\Phi(x, y, z)$ — решение уравнения (2), обращающееся при $x = \alpha$, но не равное нулю тождественно. Рассматривая

ГИДРОСТАТИКА И ГИДРОДИНАМИКА

и в котором ρ принимается за неизвестное, мы приходим к величина существенно положительная, каковы бы ни были α и β этого уравнения.

При единственном исключении, когда $\rho(x)$ равна тождественно нулю, это уравнение допускает бесчисленное множество корней, и все они будут вещественными и простыми. Если $\rho(x) = \rho_0(x) + \rho_1(x) + \rho_2(x) + \dots$, то $\rho_0(x) = 0$, $\rho_1(x) = 0$, $\rho_2(x) = 0$, $\rho_3(x) = 0$, $\rho_4(x) = 0$, $\rho_5(x) = 0$, $\rho_6(x) = 0$, $\rho_7(x) = 0$, $\rho_8(x) = 0$, $\rho_9(x) = 0$, $\rho_{10}(x) = 0$, $\rho_{11}(x) = 0$, $\rho_{12}(x) = 0$, $\rho_{13}(x) = 0$, $\rho_{14}(x) = 0$, $\rho_{15}(x) = 0$, $\rho_{16}(x) = 0$, $\rho_{17}(x) = 0$, $\rho_{18}(x) = 0$, $\rho_{19}(x) = 0$, $\rho_{20}(x) = 0$, $\rho_{21}(x) = 0$, $\rho_{22}(x) = 0$, $\rho_{23}(x) = 0$, $\rho_{24}(x) = 0$, $\rho_{25}(x) = 0$, $\rho_{26}(x) = 0$, $\rho_{27}(x) = 0$, $\rho_{28}(x) = 0$, $\rho_{29}(x) = 0$, $\rho_{30}(x) = 0$, $\rho_{31}(x) = 0$, $\rho_{32}(x) = 0$, $\rho_{33}(x) = 0$, $\rho_{34}(x) = 0$, $\rho_{35}(x) = 0$, $\rho_{36}(x) = 0$, $\rho_{37}(x) = 0$, $\rho_{38}(x) = 0$, $\rho_{39}(x) = 0$, $\rho_{40}(x) = 0$, $\rho_{41}(x) = 0$, $\rho_{42}(x) = 0$, $\rho_{43}(x) = 0$, $\rho_{44}(x) = 0$, $\rho_{45}(x) = 0$, $\rho_{46}(x) = 0$, $\rho_{47}(x) = 0$, $\rho_{48}(x) = 0$, $\rho_{49}(x) = 0$, $\rho_{50}(x) = 0$, $\rho_{51}(x) = 0$, $\rho_{52}(x) = 0$, $\rho_{53}(x) = 0$, $\rho_{54}(x) = 0$, $\rho_{55}(x) = 0$, $\rho_{56}(x) = 0$, $\rho_{57}(x) = 0$, $\rho_{58}(x) = 0$, $\rho_{59}(x) = 0$, $\rho_{60}(x) = 0$, $\rho_{61}(x) = 0$, $\rho_{62}(x) = 0$, $\rho_{63}(x) = 0$, $\rho_{64}(x) = 0$, $\rho_{65}(x) = 0$, $\rho_{66}(x) = 0$, $\rho_{67}(x) = 0$, $\rho_{68}(x) = 0$, $\rho_{69}(x) = 0$, $\rho_{70}(x) = 0$, $\rho_{71}(x) = 0$, $\rho_{72}(x) = 0$, $\rho_{73}(x) = 0$, $\rho_{74}(x) = 0$, $\rho_{75}(x) = 0$, $\rho_{76}(x) = 0$, $\rho_{77}(x) = 0$, $\rho_{78}(x) = 0$, $\rho_{79}(x) = 0$, $\rho_{80}(x) = 0$, $\rho_{81}(x) = 0$, $\rho_{82}(x) = 0$, $\rho_{83}(x) = 0$, $\rho_{84}(x) = 0$, $\rho_{85}(x) = 0$, $\rho_{86}(x) = 0$, $\rho_{87}(x) = 0$, $\rho_{88}(x) = 0$, $\rho_{89}(x) = 0$, $\rho_{90}(x) = 0$, $\rho_{91}(x) = 0$, $\rho_{92}(x) = 0$, $\rho_{93}(x) = 0$, $\rho_{94}(x) = 0$, $\rho_{95}(x) = 0$, $\rho_{96}(x) = 0$, $\rho_{97}(x) = 0$, $\rho_{98}(x) = 0$, $\rho_{99}(x) = 0$, $\rho_{100}(x) = 0$.

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

$$\sum_{k=1}^{100} \frac{W_k}{W_k - a_k} a_k (y_k - \beta) \Delta \rho_k = 0$$

15
2015
Часть I

$(\forall \epsilon > 0)(\forall t_0 \in I)(\exists \delta(t_0, \epsilon) > 0)(\forall x_0 \in B_{\delta(t_0, \epsilon)})(\forall t \geq t_0, t \in J^+) \Rightarrow (\|x(t, t_0, x_0)\| < \epsilon)$
 $(\exists \epsilon > 0)(\exists t_0 \in I)(\forall \delta > 0)(\exists x_0 \in B_{\delta})(\exists t_* \geq t_0, t_* \in J^+) \Rightarrow (\|x(t_*, t_0, x_0)\| \geq \epsilon)$

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 15 (95) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук*

Куташов Вячеслав Анатольевич, *доктор медицинских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, *кандидат географических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, *кандидат педагогических наук*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Кузьмина Виолетта Михайловна, *кандидат исторических наук, кандидат психологических наук*

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Матроскина Татьяна Викторовна, *кандидат экономических наук*

Матусевич Марина Степановна, *кандидат педагогических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенцов Аркадий Эдуардович, *кандидат политических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Титова Елена Ивановна, *кандидат педагогических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, *кандидат химических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

Ячинова Светлана Николаевна, *кандидат педагогических наук*

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: info@moluch.ru; <http://www.moluch.ru/>.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 26.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

Ответственные редакторы:

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, кандидат филологических наук, доцент (Армения)

Арошидзе Паата Леонидович, доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)

Атаев Загир Вагитович, кандидат географических наук, профессор (Россия)

Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (Россия)

Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)

Велковска Гена Цветкова, доктор экономических наук, доцент (Болгария)

Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)

Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)

Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)

Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)

Игисинов Нурбек Сагинбекович, доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмуратович, кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)

Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)

Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)

Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Нагервадзе Марина Алиевна, доктор биологических наук, профессор (Грузия)

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)

Прокопьев Николай Яковлевич, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

Прокофьева Марина Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)

Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)

Ребезов Максим Борисович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)

Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)

Хоналиев Назарали Хоналиевич, доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)

Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)

Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)

Художник: Шишков Евгений Анатольевич

Верстка: Бурьянов Павел Яковлевич

На обложке изображен Александр Михайлович Ляпунов (1857–1918) — русский математик и механик, академик Петербургской Академии наук.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Рашидов А. Ш., Халлокова О. О.**
Пороговое собственное значение модели Фридрихса1
- Халлокова О. О.**
Пороговый резонанс для модели Фридрихса с одномерным возмущением..... 3

ФИЗИКА

- Емельянов А. А., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Киряков Г. А., Габзалилов Э. Ф., Фуртиков К. А., Реутов А. Я., Королёв О. А.**
Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\psi_r - I_s$ в произвольной системе координат на основе интегрирующих звеньев....7
- Каленский А. В., Зыков И. Ю.**
Спектральная зависимость коэффициентов эффективности поглощения наночастиц алюминия в матрице PETN 30

ХИМИЯ

- Аронбаев Д. М.**
Кинетика пероксидазного окисления гидрохинона перекисью водорода.....36
- Джураева Ш. Д., Исмаилова Х. Д.**
Химические свойства производного азофенолов45
- Фозилев С. Ф., Пулатова Б. Ф.**
Местное сырьё — основа для получения депрессорных присадок для дизельных топлив 48

ИНФОРМАТИКА

- Будыльский Д. В.**
GRU и LSTM: современные рекуррентные нейронные сети 51
- Дошина А. Д., Карлова В. В., Михайлова А. Е.**
Когда прекращать тестирование программ? Критерии работоспособности программ. Эвристики тестирования54
- Романчук В. А.**
Разработка методологических основ программной оптимизации систем нейрокомпьютерной обработки информации...56
- Романчук В. А.**
Разработка обобщенной модели архитектуры нейрокомпьютера 61
- Фалалеева В. С.**
Реализация Windows-приложения, выполняющего шифрование и дешифрование текста шифрами Цезаря и Хилла65

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Анфилатов А. А.**
Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$69
- Анфилатов А. А.**
Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля при $n=1400 \text{ мин}^{-1}$72
- Анфилатов А. А.**
Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле.....75

Анфилатов А. А. Объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле в зависимости от изменения частоты вращения78	Лиханов В. А., Россохин А. В. Уточненный химизм процессов образования частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на этаноле-топливной эмульсии .. 103
Анфилатов А. А. Объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле и $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ 81	Лиханов В. А., Россохин А. В. Уточненная математическая модель образования и выгорания частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на этаноле-топливной эмульсии..... 106
Анфилатов А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле и $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$85	Лиханов В. А., Чувашев А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения 109
Быкова Ю. С., Снежкина О. В. Приложения теории погрешностей в геодезических работах 87	Лиханов В. А., Чувашев А. Н. Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения 112
Ивановский С. К., Мельниченко М. А. Использование дисперсных наполнителей для создания композиционных материалов на основе полимерной матрицы 91	Лопатин О. П. Влияние применения природного газа на содержание оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом в зависимости от изменения установочного УОВТ 114
Кузнецова А. С., Султанов Р. Ф., Клементьева Н. В. Анализ возможности реализации систем поддержки принятия решений с применением облачных технологий.....93	Лопатин О. П. Динамика образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом при УОВТ 8 градусов до ВМТ..... 117
Кылычбекова Н. К. Вторичное молочное и зернобобовое сырье в производстве хлебных изделий96	Лопатин О. П. Исследование содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом в зависимости от изменения частоты вращения 120
Лисовицкая Е. П., Пономаренко Л. В., Коваленко М. П. Побочные продукты переработки тыквы и моркови как компоненты мясорастительных консервов99	

МАТЕМАТИКА

Пороговое собственное значение модели Фридрикса

Рашидов Анваржон Шарипович, ассистент
Бухарский государственный университет (Узбекистан)

Халлокова Ойгул Олимовна, ассистент
Бухарский колледж лёгкой промышленности и педагогики (Узбекистан)

Пороговые явления для двухчастичного дискретного оператора Шредингера изучены в работах [1–3], а для семейства модели Фридрикса с одномерным возмущением, которые ассоциированы с системой двух частиц на решетке изучены в работах [4,5]. Как известно, некоторые актуальные задачи, в частности, задачи квантовой механики, статистической механики и гидродинамики сводятся к исследованию спектральных свойств модели Фридрикса [6–8]. Поэтому изучение пороговых явлений для модели Фридрикса играет важную роль в современной математической физике.

В настоящей работе рассматривается модель Фридрикса h_μ , $\mu > 0$, в случае функции специального вида $\varepsilon(\cdot)$, являющейся параметром этого оператора. Показывается, что эта функция имеет невырожденный минимум в нескольких различных точках трехмерного тора T^3 . Найдены необходимые и достаточные условия для того, чтобы число $z = 0$ являлось собственным значением оператора h_μ , в зависимости от точки минимума функции $\varepsilon(\cdot)$. При этом нуль является нижней гранью существенного спектра оператора h_μ .

Пусть T^3 — трехмерный тор, т. е. куб $(-\pi, \pi]^3$ — с соответствующим отождествлением противоположных граней. Всюду в работе T^3 рассматривается как абелева группа, в которой операции сложения и умножения на вещественное число введены как операции сложения и умножения на вещественное число в R^3 по модулю $(2\pi Z)^3$, где R и Z — множество вещественных и целых чисел, соответственно.

Пусть $L_2(T^3)$ — гильбертово пространство квадратично-интегрируемых (комплекснозначных) функций, определенных на T^3 .

Рассмотрим модель Фридрикса h_μ , $\mu > 0$, действующий в $L_2(T^3)$ как $h_\mu = h_0 - \mu\nu$, где операторы h_0 и ν определяются по правилам:

$$(h_0 f)(p) = \varepsilon(p)f(p), (\nu f)(p) = \varphi(p) \int \varphi(t)f(t)dt.$$

Здесь $\varphi(\cdot)$ — вещественнозначная четная дважды непрерывно дифференцируемая функция на T^3 , а функция $\varepsilon(\cdot)$ определена по формулам

$$\varepsilon(p) = \sum_{i=1}^3 (1 - \cos(2p^{(i)})), p = (p^{(1)}, p^{(2)}, p^{(3)}) \in T^3.$$

Здесь и в дальнейшем интеграл без указания пределов всюду означает интегрирование по всей области изменения переменных интегрирования. Очевидно, что при таких предположениях оператор h_μ ограничен и самосопряжен в $L_2(T^3)$.

Обозначим через $\sigma(\cdot)$, $\sigma_{\text{ess}}(\cdot)$ и $\sigma_{\text{disc}}(\cdot)$, соответственно, спектр, существенный спектр и дискретный спектр ограниченного самосопряженного оператора.

Оператор возмущения $\mu\nu$ оператора h_0 является самосопряженным одномерным оператором. Следовательно, из известной теоремы Г. Вейля [9] о сохранении существенного спектра при возмущениях конечного ранга вытекает, что существенный спектр оператора h_μ совпадает с существенным спектром оператора h_0 . Известно, что $\sigma_{\text{ess}}(h_0) = [0, 6]$. Из последних фактов следует, что $\sigma_{\text{ess}}(h_\mu) = [0, 6]$.

Определим регулярную в $C \setminus \sigma_{\text{ess}}(h_\mu)$ функцию (детерминант Фредгольма, ассоциированный с оператором h_μ)

$$\Delta_\mu(z) = 1 - \mu \int \frac{\varphi^2(t)dt}{\varepsilon(t) - z}.$$

Теперь установим связь между собственными значениями оператора h_μ и нулями функции $\Delta_\mu(\cdot)$.

Лемма 1. *Оператор h_μ имеет собственное значение $z \in C \setminus \sigma_{\text{ess}}(h_\mu)$ тогда и только тогда, когда $\Delta_\mu(z) = 0$.*

Из леммы 1 вытекает, что $\sigma(h_\mu) = \sigma_{\text{disc}}(h_\mu) \cup [0, 6]$, где

$$\sigma_{\text{disc}}(h_\mu) = \{z \in C \setminus \sigma_{\text{ess}}(h_\mu) : \Delta_\mu(z) = 0\}.$$

Рассмотрим следующие точки из T^3 : $P_1 = (0, 0, 0)$, $P_2 = (\pi, \pi, \pi)$.

Легко проверяется, что функция $\varepsilon(\cdot)$ имеет невырожденный минимум в точках $P_1, P_2 \in T^3$. Функция $\varphi(\cdot)$ является непрерывной на T^3 , поэтому существует конечный интеграл

$$\int \frac{\varphi^2(t)dt}{\varepsilon(t)}.$$

Полагая

$$\mu_0 = \left(\int \frac{\varphi^2(t)dt}{\varepsilon(t)} \right)^{-1}$$

получим, что $\Delta_\mu(0) = 0$ тогда и только тогда, когда $\mu = \mu_0$.

Следующая теорема о необходимых и достаточных условиях для того чтобы, число $z = 0$ являлось собственным значением оператора h_μ .

Теорема 1. *Оператор h_μ имеет нулевое собственное значение тогда и только тогда, когда $\mu = \mu_0$ и $\varphi(P_i) = 0, i = 1, 2$.*

Доказательство. Необходимость. Пусть оператор h_μ имеет нулевое собственное значение и $f \in L_2(T^3)$ — соответствующая собственная функция. Тогда f удовлетворяет уравнению $h_\mu f = 0$, т. е.

$$\varepsilon(p)f(p) - \mu\varphi(p) \int \varphi(t)f(t)dt = 0. \tag{1}$$

Из (1) вытекает, что f имеет вид

$$f(p) = \frac{\mu\varphi(p)C_f}{\varepsilon(p)} \tag{2}$$

где

$$C_f = \int \varphi(t)f(t)dt \tag{3}$$

Подставляя выражение (2) для f в (3) получим, что $\Delta_\mu(0) = 0$, т. е. $\mu = \mu_0$. Теперь докажем, что $f \in L_2(T^3)$ тогда и только тогда, когда $\varphi(P_i) = 0, i = 1, 2$. Действительно, если при некотором $i \in \{1, 2\}$ верно $\varphi(P_i) \neq 0$, то из четности дважды непрерывно дифференцируемой функции $\varphi(\cdot)$ следует, что существуют числа $C, \delta > 0$ и $\alpha_i \geq 1, i = 1, 2$ такие, что

$$|\varphi(p)| \leq C |p - P_i|^{\alpha_i}, p \in U_\delta(P_i), \tag{4}$$

где $U_\delta(P_i) = \{p \in T^3 : |p - P_i| < \delta\}$.

Кроме того из определения функции $\varepsilon(\cdot)$ для некоторых $C_1, C_2, C_3 > 0$ и $\delta > 0$ получим, что

$$C_1 |p - P_i|^2 \leq \varepsilon(p) \leq C_2 |p - P_i|^2, p \in U_\delta(P_i), \tag{5}$$

$$\varepsilon(p) > C_3, p \in T_\delta := T^3 \setminus (U_\delta(P_1) \cup U_\delta(P_2)). \tag{6}$$

Имеет место равенство

$$\int |f(t)|^2 dt = \mu^2 |C_f|^2 \sum_{i=1}^2 \int_{U_\delta(P_i)} \frac{\varphi^2(t) dt}{\varepsilon^2(t)} + \mu^2 |C_f|^2 \int_{T_\delta} \frac{\varphi^2(t) dt}{\varepsilon^2(t)}. \quad (7)$$

Учитывая неравенства (3)-(6) имеем, что i –ая ($i \in \{1,2\}$) слагаемая в правой части (7) конечна тогда и только тогда, когда $\varphi(P_i) = 0$. В случае $\varphi(P_i) = 0, i = 1,2$ имеем

$$\int |f(t)|^2 dt \leq C_1 \sum_{i=1}^2 \int \frac{|t - P_i|^{2\alpha_i} dt}{|t - P_i|^2} + C_2 < \infty.$$

Таким образом $f \in L_2(T^3)$ тогда и только тогда, когда $\varphi(P_i) = 0, i = 1,2$.

Достаточность. Пусть $\mu = \mu_0$ и $\varphi(P_i) = 0, i = 1,2$. Тогда легко можно проверить, что функция f , определенный по формуле (2), удовлетворяет уравнению $h_\mu f = 0$. Выше доказали, что если $\varphi(P_i) = 0, i = 1,2$, то $f \in L_2(T^3)$. Теоремы 1 доказано.

В ходе доказательства теоремы 1 показали, что если оператор h_μ имеет нулевое собственное значение, то функция f , определенная по формуле (2), удовлетворяет уравнению $h_\mu f = 0$ и $f \in L_2(T^3)$.

Отметим, что теорема 1 играет важную роль [10] при изучении конечности или бесконечности дискретного спектра соответствующего трехчастичного модельного оператора в зависимости от точки минимума функции $\varepsilon(\cdot)$.

Литература:

1. Albeverio, S., Lakaev S. N., Makarov K. A., Muminov Z. I. The threshold effects for the two-particle Hamiltonians in lattice. *Comm. Math. Phys.* 262 (2006), P. 91–115.
2. Albeverio, S., Lakaev S. N., Muminov Z. I. Schrodinger operators on lattices. The Efimov effect and discrete spectrum asymptotics. *Ann. Henri Poincare.* 5 (2004), P. 743–772.
3. Абдуллаев, Ж. И., Лакаев С. Н. Асимптотика дискретного спектра разностного трехчастичного оператора Шредингера на решетке. *Теор. и мат. физ.*, 136:2 (2003), с. 231–245.
4. Albeverio, S., Lakaev S. N., Muminov Z. I. The threshold effects for a family of Friedrichs models under rank one perturbation. *J. Math. Anal. Appl.* 330 (2007), P. 1152–1168.
5. Albeverio, S., Lakaev S. N., Djumanova R. Kh. The Essential and Discrete Spectrum of a Model Operator Associated to a System of Three Identical Quantum Particles. *Rep. Math. Phys.* 63:3 (2009), P. 359–380.
6. Фаддеев, Л. Д. О модели Фридрихса в теории возмущений непрерывного спектра. *Труды Мат. Инс-та АН СССР*, 73 (1964), с. 292–313.
7. Минлос, Р. А., Синай Я. Г. Исследование спектров стохастических операторов, возникающих в решетчатых моделях газа. *Теор. и матем. физ.* 2:2 (1979), с. 230–243.
8. Дынкин, Е. М., Набако С. Н., Яковлев С. И. Граница конечности сингулярного спектра в самосопряженной модели Фридрихса. *Алгебра и анализ.* 3:2 (1991), с. 77–90.
9. Рид, М., Саймон Б. Методы современной математической физики. Т. 4, Анализ операторов. — М., Мир, 1982.
10. Расулов, Т. Х. Асимптотика дискретного спектра одного модельного оператора, ассоциированного с системой трех частиц на решетке. *Теор. и матем. физ.* 163:1 (2010), с. 34–44.

Пороговый резонанс для модели Фридрихса с одномерным возмущением

Халлокова Ойгул Олимовна, ассистент
Бухарский колледж лёгкой промышленности и педагогики (Узбекистан)

Как известно, некоторые актуальные задачи, в частности, задачи квантовой механики, статистической механики и гидродинамики сводятся к исследованию спектральных свойств модели Фридрихса [1–3]. Пороговые резонансы для семейства модели Фридрихса с одномерным возмущением, которые ассоциированы с системой двух частиц на решетке изучены в работах [4,5], а для двухчастичного дискретного оператора Шредингера изучены в работах [6–8]. Поэтому изучение пороговых резонансов для модели Фридрихса играет важную роль в современной математической физике.

В настоящей работе рассматривается модель Фридрикса h_μ , $\mu > 0$, в случае функции специального вида $\varepsilon(\cdot)$, являющейся параметром этого оператора. Показывается, что эта функция имеет невырожденный минимум в нескольких различных точках трехмерного тора T^3 . Найдены необходимые и достаточные условия для того, чтобы оператор h_μ имел резонанс с нулевой энергией в зависимости от точки минимума функции $\varepsilon(\cdot)$. При этом нуль является нижней гранью существенного спектра оператора h_μ .

Пусть T^3 — трехмерный тор, т. е. куб $(-\pi, \pi]^3$ — с соответствующим отождествлением противоположных граней. Всяду в работе T^3 рассматривается как абелева группа, в которой операции сложения и умножения на вещественное число введены как операции сложения и умножения на вещественное число в R^3 по модулю $(2\pi Z)^3$, где R и Z - множество вещественных и целых чисел, соответственно.

Пусть $L_2(T^3)$ — гильбертово пространство квадратично-интегрируемых (комплекснозначных) функций, определенных на T^3 .

Рассмотрим модель Фридрикса h_μ , $\mu > 0$, действующий в $L_2(T^3)$ как $h_\mu = h_0 - \mu\nu$, где операторы h_0 и ν определяются по правилам:

$$(h_0 f)(p) = \varepsilon(p)f(p), (\nu f)(p) = \varphi(p) \int \varphi(t)f(t)dt.$$

Здесь $\varphi(\cdot)$ — вещественнозначная четная дважды непрерывно дифференцируемая функция на T^3 , а функция $\varepsilon(\cdot)$ определена по формулам

$$\varepsilon(p) = \sum_{i=1}^3 (1 - \cos(3p^{(i)})), p = (p^{(1)}, p^{(2)}, p^{(3)}) \in T^3.$$

Здесь и в дальнейшем интеграл без указания пределов всюду означает интегрирование по всей области изменения переменных интегрирования. Очевидно, что при таких предположениях оператор h_μ ограничен и самосопряжён в $L_2(T^3)$.

Обозначим через $\sigma(\cdot)$, $\sigma_{\text{ess}}(\cdot)$ и $\sigma_{\text{disc}}(\cdot)$, соответственно, спектр, существенный спектр и дискретный спектр ограниченного самосопряженного оператора.

Оператор возмущения $\mu\nu$ оператора h_0 является самосопряженным одномерным оператором. Следовательно, из известной теоремы Г. Вейля [9] о сохранении существенного спектра при возмущениях конечного ранга вытекает, что существенный спектр оператора h_μ совпадает с существенным спектром оператора h_0 . Известно, что $\sigma_{\text{ess}}(h_0) = [0, 6]$. Из последних фактов следует, что $\sigma_{\text{ess}}(h_\mu) = [0, 6]$.

Определим регулярную в $C \setminus \sigma_{\text{ess}}(h_\mu)$ функцию (детерминант Фредгольма, ассоциированный с оператором h_μ)

$$\Delta_\mu(z) = 1 - \mu \int \frac{\varphi^2(t)dt}{\varepsilon(t) - z}.$$

Теперь установим связь между собственными значениями оператора h_μ и нулями функции $\Delta_\mu(\cdot)$.

Лемма 1. Оператор h_μ имеет собственное значение $z \in C \setminus \sigma_{\text{ess}}(h_\mu)$ тогда и только тогда, когда $\Delta_\mu(z) = 0$.

Из леммы 1 вытекает, что $\sigma(h_\mu) = \sigma_{\text{disc}}(h_\mu) \cup [0, 6]$, где

$$\sigma_{\text{disc}}(h_\mu) = \{z \in C \setminus \sigma_{\text{ess}}(h_\mu) : \Delta_\mu(z) = 0\}.$$

Рассмотрим точки $P_i = (P_i^{(1)}, P_i^{(2)}, P_i^{(3)})$ из T^3 , для которых

$$P_i^{(k)} \in \left\{0, \pm \frac{2\pi}{3}\right\}, k = 1, 2, 3,$$

причем $P_i \neq P_j$ при $i \neq j$. Ясно, что число таких точек равно 27.

Легко проверяется, что функция $\varepsilon(\cdot)$ имеет невырожденный минимум в точках $P_i \in T^3$, $i = \overline{1, 27}$. Функция $\varphi(\cdot)$ является непрерывной на T^3 , поэтому существует конечный интеграл

$$\int \frac{\varphi^2(t)dt}{\varepsilon(t)}.$$

Полагая

$$\mu_0 = \left(\int \frac{\varphi^2(t)dt}{\varepsilon(t)} \right)^{-1}$$

получим, что $\Delta_\mu(0) = 0$ тогда и только тогда, когда $\mu = \mu_0$.

Пусть $C(T^3)$ (соот. $L_1(T^3)$) — банахово пространство непрерывных (соот. интегрируемых) функций, определенных на T^3 .

Определение 1. Говорят, что оператор h_μ имеет резонанс с нулевой энергией, если число $\lambda = 1$ является собственным значением интегрального оператора

$$(G_\mu \psi)(p) = \mu \varphi(p) \int \frac{\varphi(t)\psi(t)dt}{\varepsilon(t)}, \psi \in C(T^3)$$

и по крайней мере одна (с точностью до константы) соответствующая собственная функция ψ удовлетворяет условию $\psi(P_i) \neq 0$ при некотором $i \in \{1, \dots, 27\}$.

Следующая теорема о необходимых и достаточных условиях для того чтобы, оператор h_μ имел резонанс с нулевой энергией.

Теорема 1. Оператор h_μ имеет резонанс с нулевой энергией тогда и только тогда, когда $\mu = \mu_0$ и $\varphi(P_i) \neq 0$ при некотором $i \in \{1, \dots, 27\}$.

Доказательство. Необходимость. Пусть оператор h_μ имеет резонанс с нулевой энергией. Тогда по определению 1 уравнение

$$\mu \varphi(p) \int \frac{\varphi(t)\psi(t)dt}{\varepsilon(t)} = \psi(p) \tag{1}$$

имеет нетривиальное решение $\psi \in C(T^3)$, удовлетворяющее условию $\psi(P_i) \neq 0$ при некотором $i \in \{1, \dots, 27\}$. Видно, что это решение равно (с точностью до константы) функции $\varphi(\cdot)$ и следовательно, $\Delta_\mu(0) = 0$, т. е. $\mu = \mu_0$.

Достаточность. Пусть $\Delta_\mu(0) = 0$ и $\varphi(P_i) \neq 0$ при некотором $i \in \{1, \dots, 27\}$. Тогда функция $\varphi \in C(T^3)$ является решением уравнения (1), и следовательно, по определению 1 оператор h_μ имеет резонанс с нулевой энергией. Теорема 1 доказано.

Теперь докажем, что если оператор h_μ имеет резонанс с нулевой энергией, то функция f , определенная по формуле

$$f(p) = \frac{\mu \varphi(p)}{\varepsilon(p)} \tag{2}$$

удовлетворяет уравнению $h_\mu f = 0$ и $f \in L_1(T^3) \setminus L_2(T^3)$.

Действительно, если при некотором $i \in \{1, \dots, 27\}$ верно $\varphi(P_i) \neq 0$, то из непрерывности функции $\varphi(\cdot)$ следует, что существуют числа $C_1, C_2 > 0$ и $\delta > 0$ такие, что

$$C_1 \leq |\varphi(p)| \leq C_2, p \in U_\delta(P_i), \tag{3}$$

где

$$U_\delta(P_i) = \{p \in T^3 : |p - P_i| < \delta\}.$$

Кроме того из определения функции $\varepsilon(\cdot)$ для некоторых $C_1, C_2, C_3 > 0$ и $\delta > 0$ получим, что

$$C_1 |p - P_i|^2 \leq \varepsilon(p) \leq C_2 |p - P_i|^2, \quad p \in U_\delta(P_i), \quad (4)$$

$$\varepsilon(p) > C_3, \quad p \in T_\delta := T^3 \setminus \bigcup_{i=1}^{27} U_\delta(P_i). \quad (5)$$

Имеет место равенство

$$\int |f(t)|^2 dt = \mu^2 \sum_{i=1}^{27} \int_{U_\delta(P_i)} \frac{\varphi^2(t) dt}{\varepsilon^2(t)} + \mu^2 \int_{T_\delta} \frac{\varphi^2(t) dt}{\varepsilon^2(t)}.$$

Если при некотором $i \in \{1, \dots, 27\}$ верно $\varphi(P_i) \neq 0$, то используя неравенства (3)-(5) получим, что

$$\int |f(t)|^2 dt \geq C_1 \int_{U_\delta(P_i)} \frac{dt}{|t - P_i|^4} = \infty,$$

$$\int |f(t)| dt \leq C_1 \sum_{i=1}^{27} \int_{U_\delta(P_i)} \frac{dt}{|p - P_i|} + C_2 < \infty.$$

Таким образом если при некотором $i \in \{1, \dots, 27\}$ верно $\varphi(P_i) \neq 0$, то $f \in L_1(T^3) \setminus L_2(T^3)$. Это и означает, что в определении 1 требование наличия собственного значения $\lambda = 1$ оператора G_μ соответствует существованию решения уравнения $h_\mu f = 0$, а из условия $i \in \{1, \dots, 27\}$ верно $\psi(P_i) \neq 0$ следует, что решение f этого уравнения не принадлежит пространству $L_2(T^3)$.

Из доказательства теоремы 1 видно, что если оператор h_μ имеет резонанс с нулевой энергией, тогда решение уравнения $G_\mu \psi = \psi$ равно (с точностью до константы) функции $\varphi(\cdot)$.

Отметим, что теорема 1 играет важную роль [10] при изучении конечности или бесконечности дискретного спектра соответствующего трехчастичного модельного оператора в зависимости от точки минимума функции $\varepsilon(\cdot)$.

Литература:

1. Фаддеев, Л. Д. О модели Фридрихса в теории возмущений непрерывного спектра. Труды Мат. Инс-та АН СССР, 73 (1964), с. 292–313.
2. Минлос, Р. А., Синай Я. Г. Исследование спектров стохастических операторов, возникающих в решетчатых моделях газа. Теор. и матем. физ. 2:2 (1979), с. 230–243.
3. Дынкин, Е. М., Набако С. Н., Яковлев С. И. Граница конечности сингулярного спектра в самосопряженной модели Фридрихса. Алгебра и анализ. 3:2 (1991), с. 77–90.
4. Albeverio, S., Lakaev S. N., Muminov Z. I. The threshold effects for a family of Friedrichs models under rank one perturbations. J. Math. Anal. Appl. 330 (2007), P. 1152–1168.
5. Albeverio, S., Lakaev S. N., Djumanova R. Kh. The Essential and Discrete Spectrum of a Model Operator Associated to a System of Three Identical Quantum Particles. Rep. Math. Phys. 63:3 (2009), P. 359–380.
6. Albeverio, S., Lakaev S. N., Makarov K. A., Muminov Z. I. The threshold effects for the two-particle Hamiltonians in lattice. Comm. Math. Phys. 262 (2006), P. 91–115.
7. Albeverio, S., Lakaev S. N., Muminov Z. I. Schrodinger operators on lattices. The Efimov effect and discrete spectrum asymptotics. Ann. Henri Poincare. 5 (2004), P. 743–772.
8. Абдуллаев, Ж. И., Лакаев С. Н. Асимптотика дискретного спектра разностного трехчастичного оператора Шредингера на решетке. Теор. и мат. физ., 136:2 (2003), с. 231–245.
9. Рид, М., Саймон Б. Методы современной математической физики. Т. 4, Анализ операторов. — М., Мир, 1982.
10. Расулов, Т. Х. Асимптотика дискретного спектра одного модельного оператора, ассоциированного с системой трех частиц на решетке. Теор. и матем. физ. 163:1 (2010), с. 34–44.

ФИЗИКА

Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\psi_r - I_s$ в произвольной системе координат на основе интегрирующих звеньев

Емельянов Александр Александрович, доцент;
 Бесклеткин Виктор Викторович, ассистент;
 Авдеев Александр Сергеевич, студент;
 Чернов Михаил Владимирович, студент;
 Киряков Георгий Анатольевич, студент;
 Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент;
 Фуртиков Кирилл Алексеевич, студент;
 Реутов Александр Янович, студент;
 Королёв Олег Александрович, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет

Данная работа является развитием статьи [1], в которой переменные \vec{I}_s и $\left(\vec{\psi}_r \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$ определялись на выходе аperiodических звеньев. В этой статье эти переменные получены с интегрирующих звеньев, что существенно изменяет возможности математической модели асинхронного двигателя.

Так как работа адресована студентам, то выводы даны без сокращений. Предварительно, для лучшего понимания необходимо рассмотреть статьи [2], [3], [4]. В работе [2] подробно рассмотрены способы и технологии получения пространственных векторов $\vec{\psi}_s, \vec{\psi}_r, \vec{U}_s, \vec{U}_r, \vec{I}_s, \vec{I}_r$ в системе абсолютных единиц. Были получены основные уравнения асинхронного двигателя в произвольной системе координат Ω_K :

$$\vec{U}_s = \vec{I}_s \cdot R_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\Omega_K \cdot \vec{\psi}_s; \tag{1}$$

$$\vec{U}_r = \vec{I}_r \cdot R_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} + j(\Omega_K - \Omega) \cdot \vec{\psi}_r; \tag{2}$$

$$\vec{\psi}_s = L_s \cdot \vec{I}_s + L_m \cdot \vec{I}_r; \tag{3}$$

$$\vec{\psi}_r = L_r \cdot \vec{I}_r + L_m \cdot \vec{I}_s. \tag{4}$$

Переведем эти уравнения в систему относительных единиц.

В уравнениях (1) и (2) обе части разделим на U_σ :

$$\begin{bmatrix} \vec{U}_s \\ U_\sigma \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} R_s \cdot \vec{I}_\sigma \\ U_\sigma \end{bmatrix}}_{r_s} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \vec{I}_s \\ I_\sigma \end{bmatrix}}_{\vec{i}_s} + \underbrace{\frac{d \begin{bmatrix} \vec{\psi}_s \cdot \Omega_\sigma \\ U_\sigma \end{bmatrix}}{\Omega_\sigma \cdot dt}}_{\frac{d\vec{\psi}_s}{\Omega_\sigma \cdot dt}} + j \underbrace{\begin{bmatrix} \Omega_K \\ \Omega_\sigma \end{bmatrix}}_{\omega_K} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \vec{\psi}_s \cdot \Omega_\sigma \\ U_\sigma \end{bmatrix}}_{\vec{\psi}_s}$$

$$\vec{u}_s = r_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{\Omega_\delta \cdot dt} + j\omega_k \cdot \vec{\psi}_s \quad (5)$$

$$\underbrace{\left[\frac{\vec{U}_R}{U_\delta} \right]}_{\vec{u}_r} = \underbrace{\left[\frac{R_R \cdot \vec{I}_\delta}{U_\delta} \right]}_{r_r} \cdot \underbrace{\left[\frac{\vec{I}_R}{I_\delta} \right]}_{\vec{i}_r} + \frac{d \left[\frac{\vec{\psi}_R \cdot \Omega_\delta}{U_\delta} \right]}{\Omega_\delta \cdot dt} + j \underbrace{\left[\frac{\Omega_k}{\Omega_\delta} - \frac{\Omega}{\Omega_\delta} \right]}_{\omega_k - \omega} \cdot \underbrace{\left[\frac{\vec{\psi}_R \cdot \Omega_\delta}{U_\delta} \right]}_{\vec{\psi}_r},$$

$$\vec{u}_r = r_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{\Omega_\delta \cdot dt} + j(\omega_k - \omega) \cdot \vec{\psi}_r \quad (6)$$

В уравнениях (3) и (4) обе части умножим на $\left[\frac{\Omega_\delta}{U_\delta} \right]$:

$$\underbrace{\left[\frac{\vec{\psi}_s \cdot \Omega_\delta}{U_\delta} \right]}_{\vec{\psi}_s} = \underbrace{\left[\frac{\Omega_\delta \cdot L_s \cdot I_\delta}{U_\delta} \right]}_{l_s} \cdot \underbrace{\left[\frac{\vec{I}_s}{I_\delta} \right]}_{\vec{i}_s} + \underbrace{\left[\frac{\Omega_\delta \cdot L_m \cdot I_\delta}{U_\delta} \right]}_{l_m} \cdot \underbrace{\left[\frac{\vec{I}_r}{I_\delta} \right]}_{\vec{i}_r},$$

$$\vec{\psi}_s = l_s \cdot \vec{i}_s + l_m \cdot \vec{i}_r \quad (7)$$

$$\underbrace{\left[\frac{\vec{\psi}_r \cdot \Omega_\delta}{U_\delta} \right]}_{\vec{\psi}_r} = \underbrace{\left[\frac{L_R \cdot \vec{I}_\delta}{U_\delta \cdot \Omega_\delta} \right]}_{l_r} \cdot \underbrace{\left[\frac{\vec{I}_r}{I_\delta} \right]}_{\vec{i}_r} + \underbrace{\left[\frac{L_m}{\psi_\delta \cdot I_\delta} \right]}_{l_m} \cdot \underbrace{\left[\frac{\vec{I}_s}{I_\delta} \right]}_{\vec{i}_s},$$

$$\vec{\psi}_r = l_r \cdot \vec{i}_r + l_m \cdot \vec{i}_s \quad (8)$$

Итак, основные уравнения асинхронного двигателя с к. з. ротором ($\vec{u}_r = 0$) имеют следующий вид:

$$\vec{u}_s = r_s \cdot \vec{i}_s + \frac{1}{\Omega_\delta} \cdot \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \cdot \vec{\psi}_s; \quad (9)$$

$$0 = r_r \cdot \vec{i}_r + \frac{1}{\Omega_\delta} \cdot \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \cdot \vec{\psi}_r; \quad (10)$$

$$\vec{\psi}_s = l_s \cdot \vec{i}_s + l_m \cdot \vec{i}_r = (l_m + l_{s\sigma}) \cdot \vec{i}_s + l_m \cdot \vec{i}_r; \quad (11)$$

$$\vec{\psi}_r = l_r \cdot \vec{i}_r + l_m \cdot \vec{i}_s = (l_m + l_{r\sigma}) \cdot \vec{i}_r + l_m \cdot \vec{i}_s. \quad (12)$$

Электромагнитный момент определяется по формуле [5, с.131]:

$$m = \zeta_N \cdot k_r \cdot (\psi_{ra} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{sa}). \quad (13)$$

Уравнение движения:

$$m - m_c = T_j \cdot \frac{d\omega}{dt}. \quad (14)$$

Так как электромагнитный момент определяется через переменные $\vec{\psi}_r$ и \vec{i}_s , то из уравнений исключим переменные $\vec{\psi}_s$ и \vec{i}_r .

Из уравнения (12) выразим \vec{i}_r :

$$\vec{i}_r = \frac{l_m}{l_m} \cdot \frac{1}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot \vec{\psi}_r - \left[\frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \right] \cdot \vec{i}_s = \frac{1}{l_m} \cdot \left[\frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \right] \cdot \vec{\psi}_r - \left[\frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \right] \cdot \vec{i}_s.$$

Обозначим $\frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} = k_r$, тогда

$$\boxed{\vec{i}_r = \frac{k_r}{l_m} \cdot \vec{\psi}_r - k_r \cdot \vec{i}_s} \tag{15}$$

Из уравнения (11) исключим \vec{i}_r :

$$\vec{\psi}_s = \frac{l_m}{l_m} \cdot (l_m + l_{s\sigma}) \cdot \vec{i}_s + l_m \cdot \left(\frac{k_r}{l_m} \cdot \vec{\psi}_r - k_r \cdot \vec{i}_s \right) = l_m \cdot \left[\frac{l_m + l_{s\sigma}}{l_m} \right] \cdot \vec{i}_s + k_r \cdot \vec{\psi}_r - l_m \cdot k_r \cdot \vec{i}_s.$$

Обозначим $\frac{l_m}{l_m + l_{s\sigma}} = k_s$, тогда

$$\vec{\psi}_s = \frac{l_m}{k_s} \cdot \vec{i}_s + k_r \cdot \vec{\psi}_r - l_m \cdot k_r \cdot \vec{i}_s = k_r \cdot \vec{\psi}_r + l_m \cdot \left(\frac{1}{k_s} - k_r \right) \cdot \vec{i}_s.$$

Преобразуем выражение в скобке:

$$\begin{aligned} \frac{1}{k_s} - k_r &= \frac{l_m + l_{s\sigma}}{l_m} - \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} = \frac{(l_m + l_{s\sigma}) \cdot (l_m + l_{r\sigma}) - l_m^2}{l_m \cdot (l_m + l_{r\sigma})} = \frac{l_m^2 + l_m \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_m + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} - l_m^2}{l_m \cdot (l_m + l_{r\sigma})} = \\ &= \frac{l_m \cdot [l_{r\sigma} + l_{s\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} \cdot l_m^{-1}]}{l_m \cdot (l_m + l_{r\sigma})}. \end{aligned}$$

Обозначим $l_{\sigma\sigma} = l_{r\sigma} + l_{s\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} \cdot l_m^{-1}$.

$$\frac{1}{k_s} - k_r = \frac{l_m \cdot l_{\sigma\sigma}}{l_m \cdot (l_m + l_{r\sigma})} = \frac{l_{\sigma\sigma}}{l_m} \cdot \underbrace{\left[\frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \right]}_{k_r} = \frac{l_{\sigma\sigma} \cdot k_r}{l_m}.$$

Тогда

$$\vec{\psi}_s = k_r \cdot \vec{\psi}_r + l_m \cdot \frac{l_{\sigma\sigma} \cdot k_r}{l_m} \cdot \vec{i}_s = k_r \cdot \vec{\psi}_r + l_{\sigma\sigma} \cdot k_r \cdot \vec{i}_s;$$

$$\boxed{\vec{\psi}_s = k_r \cdot \vec{\psi}_r + l_{\sigma\sigma} \cdot k_r \cdot \vec{i}_s} \tag{16}$$

В уравнении (10) подставим \vec{i}_r :

$$0 = r_r \cdot \left(\frac{k_r}{l_m} \cdot \vec{\psi}_r - k_r \cdot \vec{i}_s \right) + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} + j\omega_k \cdot \vec{\psi}_r - j\omega \cdot \vec{\psi}_r. \tag{17}$$

Отсюда выразим:

$$\frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} = r_r \cdot k_r \cdot \vec{i}_s - r_r \cdot \frac{k_r}{l_m} \cdot \vec{\psi}_r - j\omega_k \cdot \vec{\psi}_r + j\omega \cdot \vec{\psi}_r. \tag{18}$$

В уравнении (17) перейдем к изображениям $\left(\frac{d}{dt} = s \right)$ и разложим векторы $\vec{\psi}_r$ и \vec{i}_s на проекции:

$$\vec{\psi}_r = \psi_{rx} + j\psi_{ry};$$

$$\vec{i}_s = i_{sx} + ji_{sy};$$

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{r_r \cdot k_r}{l_m} \cdot \psi_{rx} + j \frac{r_r \cdot k_r}{l_m} \cdot \psi_{ry} - r_r \cdot k_r \cdot i_{sx} - jr_r \cdot k_r \cdot i_{sy} + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \psi_{rx} + j \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \psi_{ry} + \\ &+ j\omega_k \cdot \psi_{rx} - \omega_k \cdot \psi_{ry} - j\omega \cdot \psi_{rx} + \omega \cdot \psi_{ry}. \end{aligned} \tag{*}$$

Проекция уравнения (*) на ось +1:

$$0 = \frac{r_r \cdot k_r}{l_m} \cdot \psi_{rx} - r_r \cdot k_r \cdot i_{sx} + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \psi_{rx} - \omega_k \cdot \psi_{ry} + \omega \cdot \psi_{ry}. \quad (19)$$

Проекция уравнения (*) на ось +j:

$$0 = \frac{r_r \cdot k_r}{l_m} \cdot \psi_{ry} - r_r \cdot k_r \cdot i_{sy} + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \psi_{ry} + \omega_k \cdot \psi_{rx} - \omega \cdot \psi_{rx}. \quad (20)$$

Из уравнения (20):

$$\left(\frac{r_r \cdot k_r}{l_m} + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \psi_{ry} = r_r \cdot k_r \cdot i_{sy} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{rx};$$

$$\frac{r_r \cdot k_r}{l_m} \cdot \left(1 + \frac{l_m}{r_r \cdot k_r} \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \psi_{ry} = r_r \cdot k_r \cdot i_{sy} - \underbrace{(\omega_k - \omega)}_{\beta_{\kappa}} \cdot \psi_{rx}.$$

Разделим обе части полученного уравнения на $(r_r \cdot k_r)$:

$$\frac{1}{l_m} \cdot \left(1 + \left(\frac{l_m}{r_r \cdot k_r} \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}} \right) \cdot s \right) \cdot \psi_{ry} = i_{sy} - \frac{1}{r_r \cdot k_r} \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{rx}.$$

Преобразуем:

$$\frac{l_m}{r_r \cdot k_r} \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}} = \frac{l_m \cdot (l_m + l_{r\sigma})}{r_r \cdot l_m \cdot \Omega_{\delta}} = \left[\frac{l_m + l_{r\sigma}}{r_r} \right] \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}}.$$

Обозначим $\frac{l_m + l_{r\sigma}}{r_r} = T_r$.

Тогда

$$\frac{1}{l_m} \cdot \left(1 + \frac{T_r}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \psi_{ry} = i_{sy} - \frac{1}{r_r \cdot k_r} \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{rx}.$$

В соответствии с [6] перейдем к переменным $\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right)$ и $\left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right)$:

$$\left(\frac{T_r}{k_r} \cdot \frac{1}{l_m} \right) \cdot \left(1 + \frac{T_r}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right) = i_{sy} - \frac{T_r}{k_r} \cdot \frac{1}{r_r \cdot k_r} \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right).$$

Выразим:

$$\left(\frac{T_r}{k_r} \cdot \frac{1}{l_m} \right) = \frac{l_m + l_{r\sigma}}{k_r \cdot r_r \cdot l_m} = \underbrace{\left[\frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \right]}_{\frac{1}{k_r}} \cdot \frac{1}{r_r \cdot k_r} = \frac{1}{r_r \cdot k_r^2}.$$

В результате получим уравнение, которое было рассмотрено нами в работе [1] при получении переменной

$\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right)$ на выходе аperiodического звена:

$$\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} \cdot \left(1 + \frac{T_r}{\Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right) = i_{sy} - \frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2} \cdot \beta_{\kappa} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right);$$

$$\left(\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} + \frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2 \cdot \Omega_{\delta}} \cdot s \right) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right) = i_{sy} - \frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2} \cdot (\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right).$$

Для получения переменной $\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$ на выходе интегрирующего звена раскроем скобки в левой части:

$$\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) + \frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2 \cdot \Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) = i_{sy} - \frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2} \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right).$$

Перенесем первое слагаемое в левую часть:

$$\frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2 \cdot \Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) = -\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) + i_{sy} - \frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2} \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right).$$

Наконец, переменная $\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$ выразится через интегрирующее звено:

$$\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) = \left[-\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) + i_{sy} - \frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2} \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) \right] \cdot \frac{r_r \cdot k_r^2 \cdot \Omega_{\delta}}{T_r} \cdot \frac{1}{s}. \tag{21}$$

Этому уравнению (21) соответствует следующая структурная схема:

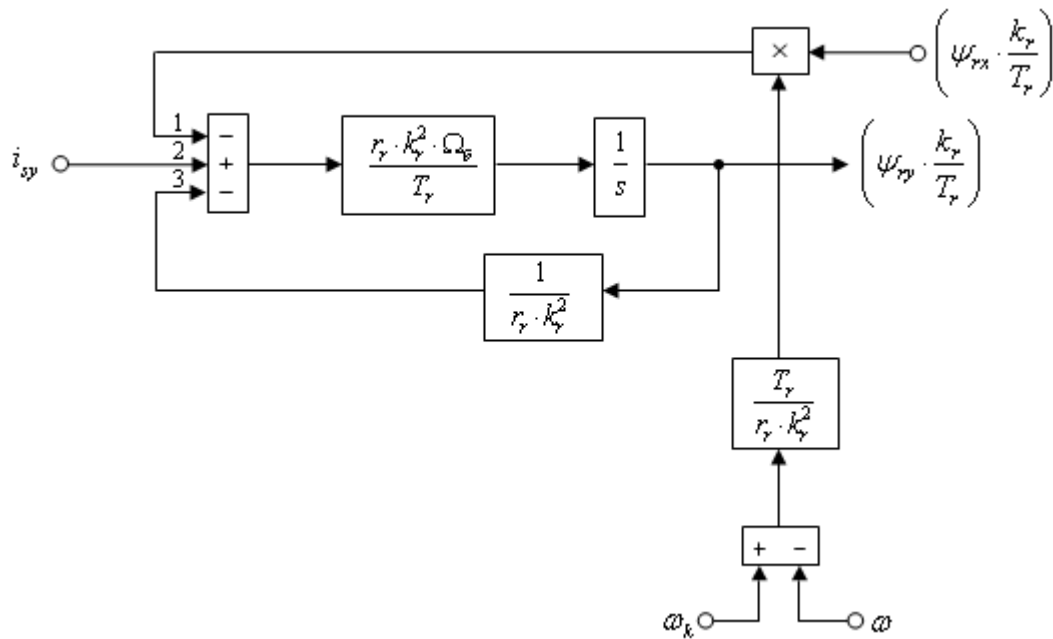


Рис. 1. Структурная схема для определения $\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$

Аналогично для уравнения (19):

$$0 = \left(\frac{r_r \cdot k_r}{l_m} \cdot \psi_{rx} + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \psi_{rx}\right) - r_r \cdot k_r \cdot i_{sx} - (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{ry};$$

$$\frac{r_r \cdot k_r}{l_m} \cdot \left(1 + \frac{l_m}{r_r \cdot k_r} \cdot \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \psi_{rx} = r_r \cdot k_r \cdot i_{sx} + (\omega_k - \omega) \cdot \psi_{ry}.$$

Выразим новые переменные $\left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$ и $\left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$ и разделим обе части уравнения на $r_r \cdot k_r$:

$$\frac{T_r}{k_r} \cdot \frac{1}{l_m} \cdot \left(1 + \frac{T_r}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) = i_{sx} + \frac{T_r}{k_r} \cdot \frac{1}{k_r \cdot r_r} (\omega_k - \omega) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right).$$

Обозначим $\frac{T_r \cdot 1}{k_r \cdot l_m} = \frac{1}{r_r \cdot k_r^2}$.

$$\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} \cdot \left(1 + \frac{T_r}{\Omega_{\delta}} \cdot s\right) \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) = i_{sx} + \frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2} \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right).$$

Для получения переменной $\left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$ на выходе апериодического звена перенесем первое слагаемое в правую часть:

$$\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} \cdot \frac{T_r}{\Omega_{\delta}} \cdot s \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) = -\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) + i_{sx} + \frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2} \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right);$$

$$\left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right) = \left(\underbrace{-\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} \cdot \left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)}_1 + \underbrace{i_{sx}}_2 + \underbrace{\frac{T_r}{r_r \cdot k_r^2} \cdot (\omega_k - \omega) \cdot \left(\psi_{ry} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)}_3 \right) \cdot \frac{r_r \cdot k_r^2 \cdot \Omega_{\delta}}{T_r} \cdot \frac{1}{s}. \tag{22}$$

Полученному уравнению (22) соответствует следующая структурная схема:

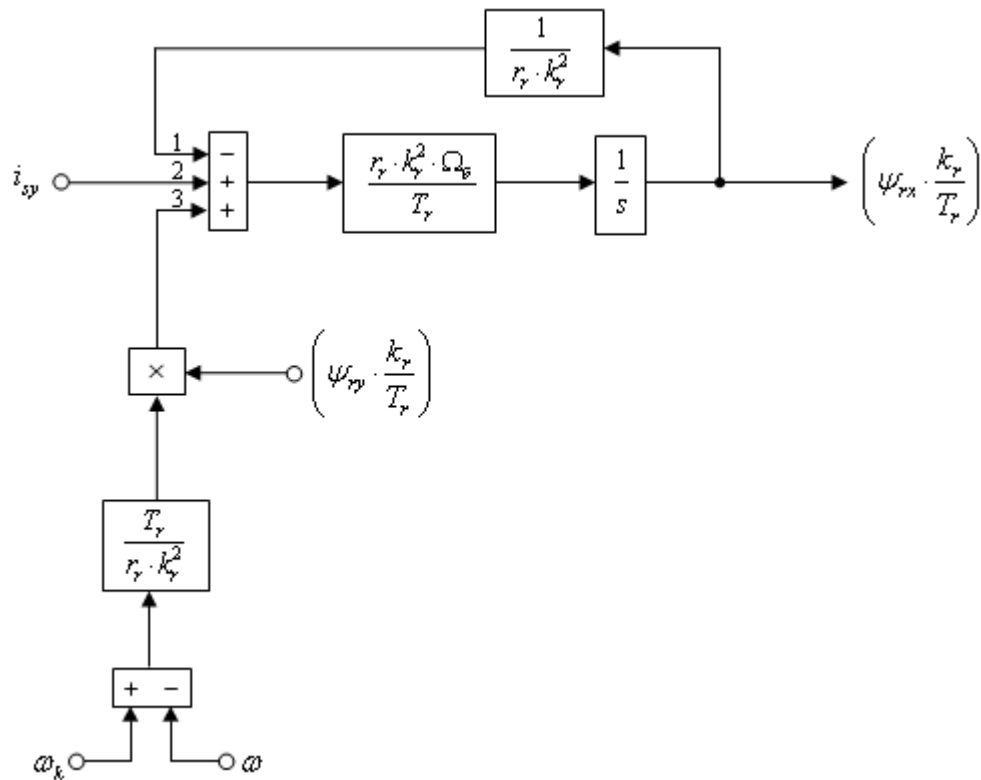


Рис. 2. Структурная схема для определения $\left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$

Из уравнения (9) исключим $\vec{\psi}_s$:

$$\vec{u}_s = r_s \cdot \vec{i}_s + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot \frac{d}{dt} (k_r \cdot l_{\sigma_3} \cdot i_s + k_r \cdot \vec{\psi}_r) + j\omega_k \cdot (k_r \cdot l_{\sigma_3} \cdot i_s + k_r \cdot \vec{\psi}_r);$$

$$\vec{u}_s = r_s \cdot \vec{i}_s + \frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot k_r \cdot l_{\sigma_3} \cdot \frac{d\vec{i}_s}{dt} + k_r \cdot \left(\frac{1}{\Omega_{\delta}} \cdot \frac{d\vec{\psi}_r}{dt}\right) + j\omega_k \cdot k_r \cdot l_{\sigma_3} \cdot \vec{i}_s + jk_r \cdot \omega_k \cdot \vec{\psi}_r.$$

Подставим в это уравнение $\left(\frac{1}{\Omega_{\sigma}} \cdot \frac{d\vec{\psi}_r}{dt}\right)$ из уравнения (18):

$$\begin{aligned} \vec{u}_s &= r_s \cdot \vec{i}_s + \frac{1}{\Omega_{\sigma}} \cdot k_r \cdot l_{\sigma} \cdot \frac{d\vec{i}_s}{dt} + k_r^2 \cdot r_r \cdot \vec{i}_s - \frac{k_r^2 \cdot r_r}{l_m} \cdot \vec{\psi}_r - jk_r \cdot (\omega_{\kappa} - \omega) \cdot \vec{\psi}_r + j\omega_{\kappa} \cdot k_r \cdot l_{\sigma} \cdot \vec{i}_s + jk_r \cdot \omega_{\kappa} \cdot \vec{\psi}_r = \\ &= \underbrace{(r_s + k_r^2 \cdot r_r)}_{r_s} \cdot \vec{i}_s + \frac{k_r \cdot l_{\sigma}}{\Omega_{\sigma}} \cdot \frac{d\vec{i}_s}{dt} - \frac{k_r^2 \cdot r_r}{l_m} \cdot \vec{\psi}_r - jk_r \cdot \omega_{\kappa} \cdot \vec{\psi}_r + jk_r \cdot \omega \cdot \vec{\psi}_r + j\omega_{\kappa} \cdot (k_r \cdot l_{\sigma}) \cdot \vec{i}_s + jk_r \cdot \omega_{\kappa} \cdot \vec{\psi}_r. \end{aligned}$$

Введем обозначения:

$$r_{\sigma} = r_s + k_r^2 \cdot r_r;$$

$$\begin{aligned} r_r \cdot l_{\sigma} &= r_r \cdot \left(l_{s\sigma} + l_{r\sigma} + \frac{l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma}}{l_m} \right) = k_r \cdot l_{r\sigma} + k_r \cdot l_{s\sigma} \cdot \left(1 + \frac{l_{r\sigma}}{l_m} \right) = k_r \cdot l_{r\sigma} + k_r \cdot l_{s\sigma} \cdot \left(\frac{l_m + l_{r\sigma}}{l_m} \right) = \\ &= k_r \cdot l_{r\sigma} + \frac{k_r \cdot l_{s\sigma}}{k_r} = k_r \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} = l_{\sigma}; \end{aligned}$$

$$\frac{k_r \cdot l_{\sigma}}{r_{\sigma}} = \frac{l_{\sigma}}{r_{\sigma}} = T_{\sigma};$$

$$\frac{k_r^2 \cdot r_r}{l_m} = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} \cdot \frac{k_r \cdot r_r}{l_m} = \frac{k_r}{T_r},$$

Где $T_r = \frac{l_m + l_{r\sigma}}{r_r}$.

Переведем уравнение \vec{u}_s в изображения, для этого выразим $\frac{d}{dt} = s$:

$$\begin{aligned} \vec{u}_s &= r_{\sigma} \cdot \vec{i}_s + \frac{l_{\sigma}}{\Omega_{\sigma}} \cdot s \cdot \vec{i}_s - \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \vec{\psi}_r \right) + jT_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \vec{\psi}_r \right) + j\omega_{\kappa} \cdot l_{\sigma} \cdot \vec{i}_s; \\ \vec{u}_s &= \left(r_{\sigma} + \frac{l_{\sigma}}{\Omega_{\sigma}} \cdot s \right) \cdot \vec{i}_s - \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \vec{\psi}_r \right) + jT_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \vec{\psi}_r \right) + j\omega_{\kappa} \cdot l_{\sigma} \cdot \vec{i}_s; \\ r_{\sigma} \cdot \left(1 + \frac{l_{\sigma}}{r_{\sigma}} \cdot \frac{1}{\Omega_{\sigma}} \cdot s \right) \cdot \vec{i}_s &= \vec{u}_s + \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \vec{\psi}_r \right) - jT_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \vec{\psi}_r \right) - j\omega_{\kappa} \cdot l_{\sigma} \cdot \vec{i}_s. \end{aligned}$$

Выразим векторы \vec{i}_s , \vec{u}_s и $\vec{\psi}_r$ через проекции:

$$\vec{i}_s = i_{sx} + j i_{sy}; \quad \vec{u}_s = u_{sx} + j u_{sy}; \quad \vec{\psi}_r = \psi_{rx} + j \psi_{ry}.$$

$$\begin{aligned} r_{\sigma} \cdot \left(1 + \frac{T_{\sigma}}{\Omega_{\sigma}} \cdot s \right) \cdot i_{sx} + j r_{\sigma} \cdot \left(1 + \frac{T_{\sigma}}{\Omega_{\sigma}} \cdot s \right) \cdot i_{sy} &= u_{sx} + j u_{sy} + \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx} \right) + j \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry} \right) - \\ &- j T_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx} \right) + T_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry} \right) - j \omega_{\kappa} \cdot l_{\sigma} \cdot i_{sx} + \omega_{\kappa} \cdot l_{\sigma} \cdot i_{sy}. \end{aligned} \tag{**}$$

Проекция уравнения (***) на действительную ось +1:

$$\begin{aligned} r_{\sigma} \cdot \left(1 + \frac{T_{\sigma}}{\Omega_{\sigma}} \cdot s \right) \cdot i_{sx} &= u_{sx} + \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx} \right) + T_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry} \right) + \omega_{\kappa} \cdot l_{\sigma} \cdot i_{sy}; \\ r_{\sigma} \cdot \frac{T_{\sigma}}{\Omega_{\sigma}} \cdot s \cdot i_{sx} &= -r_{\sigma} \cdot i_{sx} + u_{sx} + \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx} \right) + T_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry} \right) + \omega_{\kappa} \cdot l_{\sigma} \cdot i_{sy}. \end{aligned} \tag{23}$$

Проекция уравнения (***) на мнимую ось +j:

$$\begin{aligned}
 r_3 \cdot \left(1 + \frac{T_3}{\Omega_6} \cdot s\right) \cdot i_{sx} &= u_{sy} + \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry}\right) - T_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx}\right) - \omega_k \cdot l_3 \cdot i_{sx}; \\
 r_3 \cdot \frac{T_3}{\Omega_6} \cdot s \cdot i_{sx} &= -r_3 \cdot i_{sx} + u_{sy} + \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry}\right) - T_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx}\right) - \omega_k \cdot l_3 \cdot i_{sx}.
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

Из уравнения (23) выразим i_{sx} :

$$i_{sx} = \left(\underbrace{-r_3 \cdot i_{sx}}_1 + \underbrace{u_{sy}}_3 + \underbrace{\left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry}\right)}_2 + \underbrace{T_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx}\right)}_5 + \underbrace{\omega_k \cdot l_3 \cdot i_{sx}}_4 \right) \cdot \frac{\Omega_6}{r_3 \cdot T_3} \cdot \frac{1}{s}.$$

Структурная схема для реализации тока i_{sx} в MatLab-Simulink дана на рис. 3.

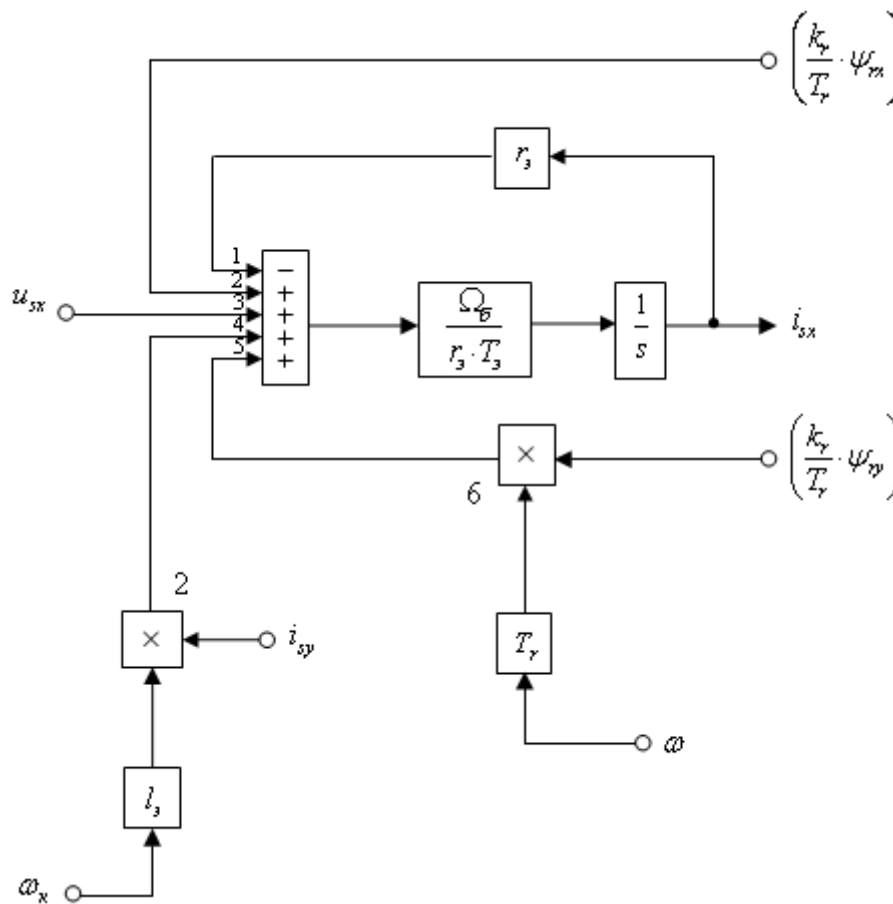


Рис. 3. Структурная схема проекции статорного тока i_{sx} на ось +1

Аналогично из уравнения (24) выразим i_{sy} :

$$i_{sy} = \left(\underbrace{-r_3 \cdot i_{sy}}_5 + \underbrace{u_{sy}}_3 + \underbrace{\left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry}\right)}_4 - \underbrace{T_r \cdot \omega \cdot \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx}\right)}_1 - \underbrace{\omega_k \cdot l_3 \cdot i_{sx}}_2 \right) \cdot \frac{\Omega_6}{r_3 \cdot T_3} \cdot \frac{1}{s}.$$

Структурная схема, соответствующая этому уравнению представлена на рис. 4.

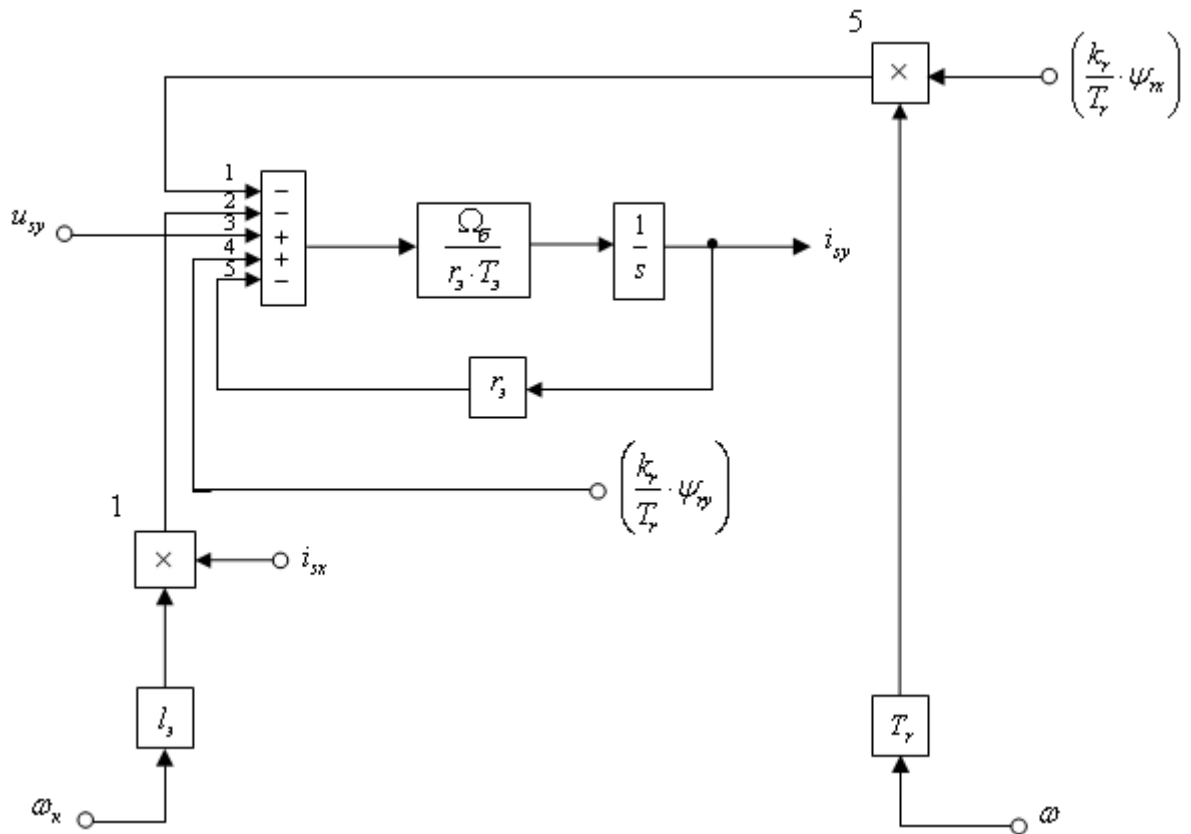


Рис. 4. Структурная схема проекции статорного тока i_{sy} на ось $+j$

Структурная схема для реализации уравнения (13) дана на рис. 5:

$$m = \zeta_N \cdot k_r \cdot (\psi_{rx} \cdot i_{sy} - \psi_{ry} \cdot i_{sx}) = \zeta_N \cdot T_r \cdot \left(\left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{rx} \right) \cdot i_{sy} - \left(\frac{k_r}{T_r} \cdot \psi_{ry} \right) \cdot i_{sx} \right).$$

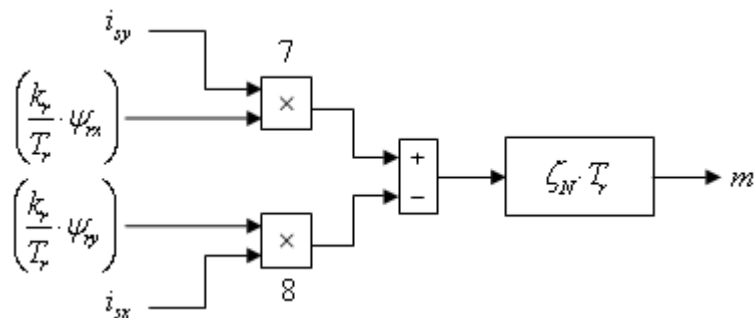


Рис. 5. Математическая модель электромагнитного момента m

Наконец для уравнения (14):

$$m - m_c = T_j \cdot s \cdot \omega;$$

$$\omega = (m - m_c) \cdot \frac{1}{T_j \cdot s}.$$

Структурная схема дана на рис. 6.

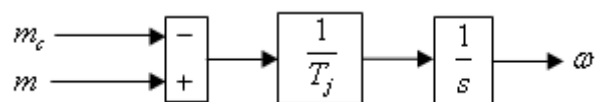


Рис. 6. Математическая модель уравнения движения

В работе [5] в главе 6 «Примеры» дан образец расчета параметров асинхронного двигателя. В наших дальнейших работах направленных на подготовку студентов к исследовательской работе, глава 6 окажет неоценимую помощь. Можно было бы по аналогии рассмотреть паспортные данные любого другого двигателя, но для проверки правильности выводов уравнений сделанных исследовательской группой самостоятельно, необходимо постоянно выходить на многие полученные результаты в работе [6]. Поэтому, этот пример расчета окажется очень полезным.

Номинальные данные:

Номинальный режим работы	S1;
Номинальная мощность	$P_N = 320 \text{ кВт}$;
Номинальное фазное напряжение	$U_{s.N} = 380 \text{ В}$;
Номинальный фазный ток	$I_{s.N} = 324 \text{ А}$;
Номинальная частота	$f_N = 50 \text{ Гц}$;
Номинальная синхронная скорость	$\Omega_{0.N} = 104,7 \text{ рад/с}$;
Номинальная скорость ротора	$\Omega_N = 102,83 \text{ рад/с}$;
Номинальный КПД	$\eta_N = 0,944$;
Номинальный коэффициент мощности	$\cos \varphi_N = 0,92$;
Число пар полюсов	$z_p = 3$.

Параметры T-образной схемы замещения при номинальной частоте:

Активное сопротивление обмотки статора	$R_s = 0,0178 \text{ Ом}$;
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора	$X_{s\sigma} = 0,118 \text{ Ом}$;
Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к статору	$R_r = 0,0194 \text{ Ом}$;
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к статору	$X_{r\sigma} = 0,123 \text{ Ом}$;
Главное индуктивное сопротивление	$X_m = 4,552 \text{ Ом}$;
Суммарный момент инерции двигателя и механизма	$J_\Sigma = 28 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Базисные величины системы относительных единиц:

Напряжение	$U_\delta = \sqrt{2}U_{s.N} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В}$;
Ток	$I_\delta = \sqrt{2}I_{s.N} = \sqrt{2} \cdot 324 = 458,2 \text{ А}$;
Частота	$\Omega_\delta = \Omega_{s.N} = 2\pi f_N = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,16 \text{ рад/с}$;
Скорость ротора	$\Omega_{r,\delta} = \frac{\Omega_\delta}{z_p} = \frac{314,16}{3} = 104,72 \text{ рад/с}$;
Сопротивление	$Z_\delta = \frac{U_\delta}{I_\delta} = \frac{537,4}{458,2} = 1,1728 \text{ Ом}$;
Потокосцепление	$\Psi_\delta = \frac{U_\delta}{\Omega_\delta} = \frac{537,4}{314,16} = 1,711 \text{ В} \cdot \text{с}$;
Индуктивность	$L_\delta = \frac{\Psi_\delta}{I_\delta} = \frac{1,711}{458,2} = 3,733 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

Используя номинальные данные двигателя, определяем:

$$M_\delta = k_\Delta \cdot M_N = k_\Delta \cdot \frac{P_N}{\Omega_N},$$

где $k_\Delta > 1$ — коэффициент, учитывающий различие значений электромагнитного момента и момента на валу двигателя в номинальном режиме ($k_\Delta = 1,0084$).

$$M_{\delta} = k_{\Delta} \cdot \frac{P_N}{\Omega_N} = 1,0084 \cdot \frac{320 \cdot 10^3}{102,83} = 3138,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

В качестве базисной мощности выбираем значение электромагнитной мощности двигателя в номинальном режиме, определяемое по следующей формуле:

$$P_{\delta} = M_{\delta} \cdot \Omega_{p.\delta} = 3138,07 \cdot 104,72 = 328,62 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Относительные значения параметров схемы замещения двигателя:

$$r_s = \frac{R_s}{Z_{\delta}} = \frac{0,0178}{1,1728} = 0,0152;$$

$$l_{s\sigma} = \frac{L_{s\sigma}}{L_{\delta}} = \frac{X_{s\sigma}}{(\Omega_{\delta} \cdot L_{\delta})} = \frac{X_{s\sigma}}{Z_{\delta}} = \frac{0,118}{1,1728} = 0,1006;$$

$$r_r = \frac{R_r}{Z_{\delta}} = \frac{0,0194}{1,1728} = 0,0165;$$

$$l_{r\sigma} = \frac{X_{r\sigma}}{Z_{\delta}} = \frac{0,123}{1,1728} = 0,1049;$$

$$l_m = \frac{X_m}{Z_{\delta}} = \frac{4,552}{1,1728} = 3,881.$$

Механическая постоянная времени:

$$T_j = J_{\Sigma} \cdot \frac{\Omega_{r.\delta}}{M_{\delta}} = 28 \cdot \frac{104,72}{3138,07} = 0,934 \text{ с}.$$

Номинальное значение скольжения:

$$\beta_N = \frac{\Omega_{0N} - \Omega_N}{\Omega_{0N}} = \frac{104,72 - 102,83}{104,72} = 0,018.$$

Относительное значение номинальной скорости ротора:

$$\omega_N = (1 - \beta_N) = (1 - 0,018) = 0,982.$$

Нормирующий энергетический коэффициент:

$$\zeta_N = \frac{S_{s.N}}{P_{э.м.N}} = \frac{3 \cdot U_{s.N} \cdot I_{s.N}}{P_{\delta}} = \frac{3 \cdot 380 \cdot 324}{328620} = 1,124;$$

$$S_{s.N} = 3 \cdot U_{s.N} \cdot I_{s.N} = 369360 \text{ ВА};$$

$$k_s = \frac{l_m}{l_m + l_{s\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1006} = 0,9749;$$

$$k_r = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1049} = 0,9737;$$

$$l_{\sigma\delta} = l_{s\sigma} + l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} \cdot l_m^{-1} = 0,1006 + 0,1049 + \frac{0,1006 \cdot 0,1049}{3,881} = 0,2082.$$

При расчете режимов работы, для того чтобы $i_{sn} = 1$, $m_N = 1$, $u_{sN} = 1$, $\omega_{sN} = 1$ и $\beta_N = 0,018$ необходимо откорректировать r_r :

$$r_{rk} = \rho_N \cdot \beta_N = 0,9962 \cdot 0,018 = 0,0179,$$

где $\rho_N = 0,9962$ — корректирующий коэффициент [5, с. 296].

$$kk = \frac{r_{rk}}{r_r} = 1,0849 \text{ — коэффициент, показывающий отношение } r_{rk} \text{ к } r_r.$$

$$\alpha_r = k_r \cdot \frac{r_r}{l_m} = 0,9737 \cdot \frac{0,0179}{3,881} = 0,00451;$$

$$l_{\sigma} = k_r \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} = 0,9737 \cdot 0,1049 + 0,1006 = 0,20274;$$

$$l_{\sigma} = k_r \cdot l_{\sigma\sigma} = 0,9737 \cdot 0,2082 = 0,20274;$$

$$r_{\sigma} = r_s + k_r^2 \cdot r_r = 0,0152 + 0,9737^2 \cdot 0,0179 = 0,032171;$$

$$T_{\sigma} = \frac{l_{\sigma}}{r_{\sigma}} = \frac{0,20274}{0,032171} = 6,302;$$

$$k_r^2 \cdot r_r = 0,9737^2 \cdot 0,0179 = 0,017;$$

$$\frac{1}{r_{\sigma}} = \frac{1}{0,032171} = 31,084;$$

$$T_r = \frac{l_m + l_{r\sigma}}{r_r} = \frac{3,881 + 0,1049}{0,0179} = 222,676;$$

$$\frac{T_r}{k_r^2 \cdot r_r} = \frac{222,676}{0,9737^2 \cdot 0,0179} = 13098,587;$$

$$\frac{T_{\sigma}}{\Omega_{\sigma}} = \frac{6,302}{314,16} = 0,02006;$$

$$\frac{T_r}{\Omega_{\sigma}} = \frac{222,676}{314,16} = 0,7088;$$

$$\zeta_N \cdot T_r = 1,124 \cdot 222,676 = 250,29;$$

$$\frac{\Omega_{\sigma}}{r_{\sigma} \cdot T_{\sigma}} = \frac{314,16}{0,032171 \cdot 6,302} = 1549,558;$$

$$\frac{k_r}{T_r} = \frac{0,9737}{222,676} = 0,00437;$$

$$\frac{1}{r_r \cdot k_r^2} = \frac{1}{0,0179 \cdot 0,9737^2} = 58,824;$$

$$\frac{r_r \cdot k_r^2 \cdot \Omega_{\sigma}}{T_r} = \frac{0,0179 \cdot 0,9737^2 \cdot 314,16}{222,676} = 0,024.$$

На рис. 7 представлена система, состоящая из математической модели АД, преобразователя координат и блока ориентации.

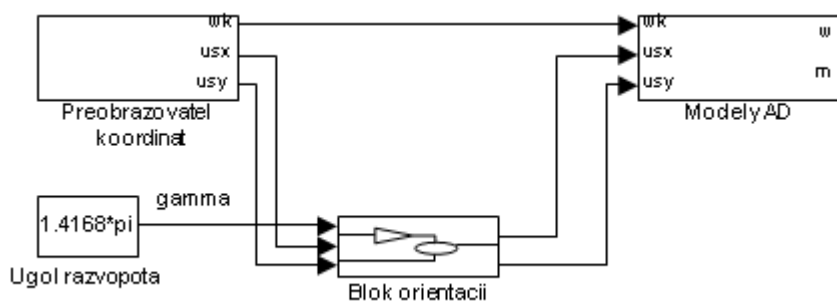


Рис. 7. Общий вид системы

Главным элементом этой системы является математическая модель асинхронного двигателя. Основным отличием от модели двигателя, приведенного в работе [1] является то, что переменные i_s и $\left(\psi_r \cdot \frac{k_r}{T_r}\right)$ формируются на выходе интегрирующих звеньев. Это позволяет вынести расчет коэффициентов модели в отдельную подсистему (Raschet koefficientov). В результате этого выноса остается оболочка из сумматоров, блоков перемножения и интеграторов (Obolochka dvigatela). Общая структура двигателя дана на рис. 8.

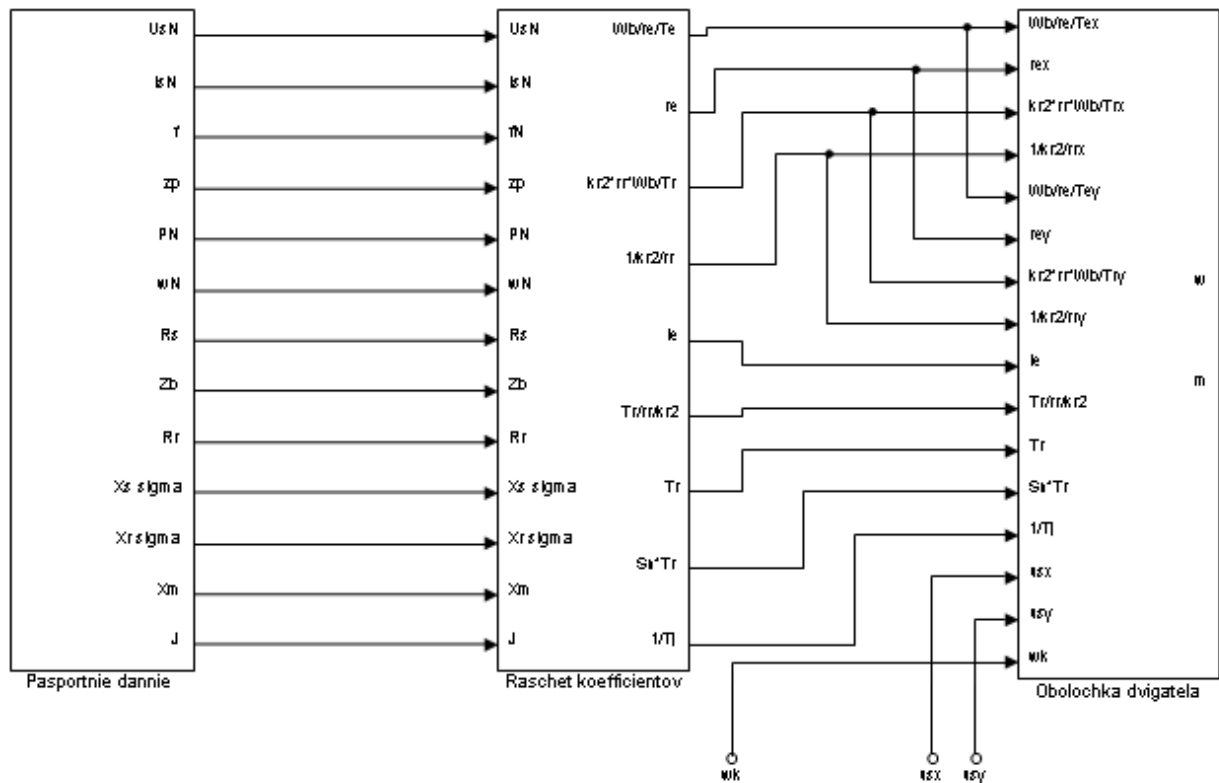


Рис. 8. Модель асинхронного двигателя (оболочка двигателя, расчет параметров и ввод паспортных данных)

Оболочка двигателя дана на рис. 9. Ввод паспортных данных двигателя показан на рис. 10. Особенностью этого структурного элемента подсистемы состоит в том, что он предусматривает различные варианты справочных данных. В некоторых справочниках даны параметры двигателя в относительных единицах и для того, чтобы максимально приблизиться к структуре подачи материала главы 6 [5], в которой вначале параметры двигателя даны в абсолютных единицах в блоке (Paspornnie dannie) установлены ключи manual switch (рис. 10). В этом случае ключи необходимо перевести в нижнее положение.

Расчет коэффициентов осуществляется в подсистеме Raschet koefficientov, приведенной на рис. 11.

Следующим важным элементом системы (рис. 7) является преобразователь координат, главная функция которого состоит в том, чтобы перевести математическую модель асинхронного двигателя в систему координат, синхронно вращающуюся с частотой сети $\omega_k = \omega_s$. В этом случае на вход математической модели необходимо подавать постоянные значения u_{sx} и u_{sy} . Преобразователь координат состоит из трех подсистем (рис. 12):

- формирователь мгновенных значений трехфазного напряжения u_{sa}, u_{sb} и u_{sc} (Subsystem u_{sa}, u_{sb}, u_{sc});
- подсистема, обеспечивающая переход от трехфазной неподвижной системы a, b, c к двухфазной неподвижной системе. На выходе этого блока вычисляются проекции вращающегося вектора \bar{u}_s u_{sa} и u_{sb} , которые представляют собой мгновенные значения напряжения синусоидальной формы со сдвигом на 90° ;
- подсистема, производящая переход от неподвижной двухфазной системы к вращающейся системе, в которой u_{sx} и u_{sy} имеют постоянные значения.

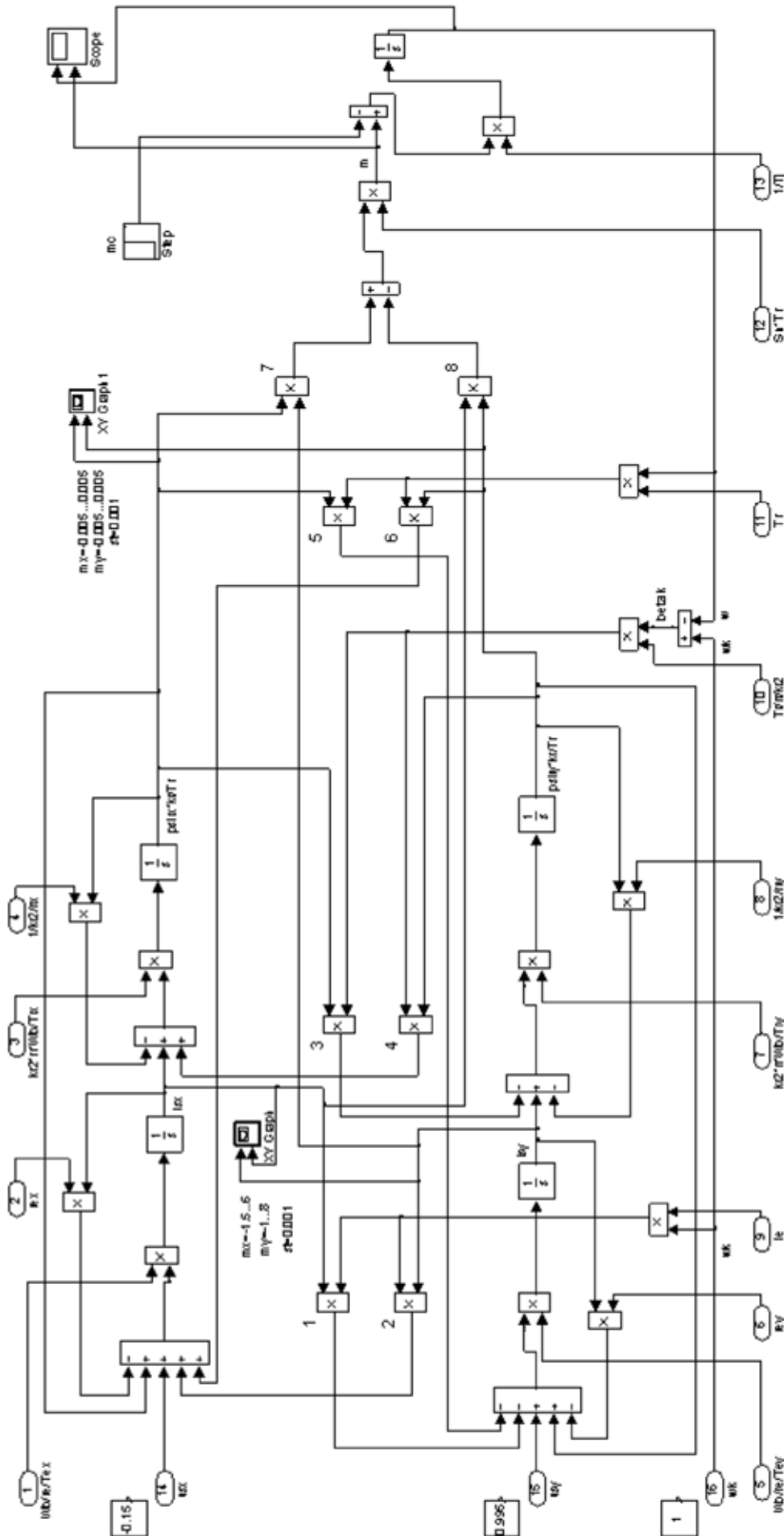


Рис. 9. Оболочка математической модели Ад с переменными $i_s - \left(\psi_r \cdot \frac{k_r}{T_r} \right)$

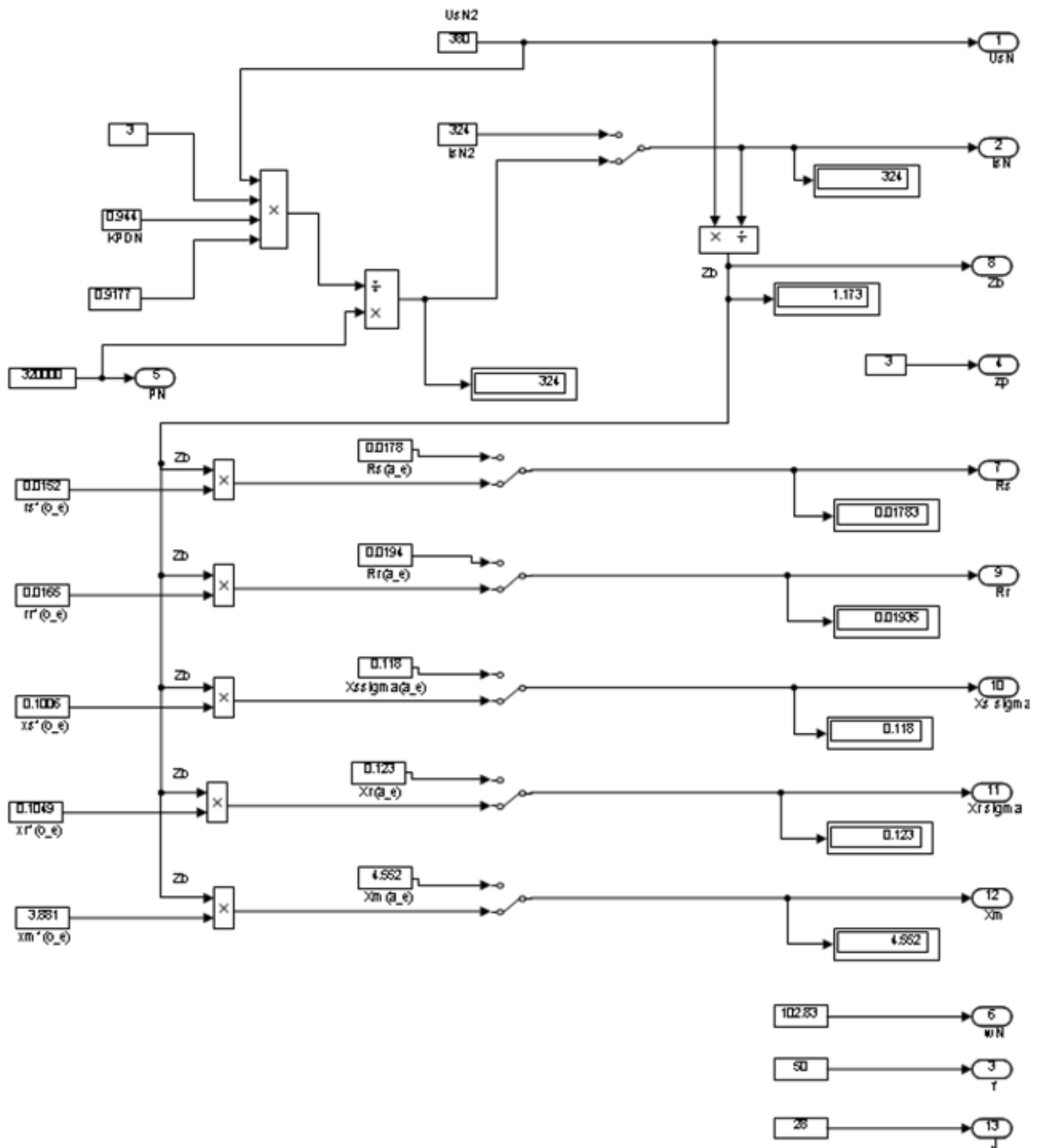


Рис. 10. Паспортные данные

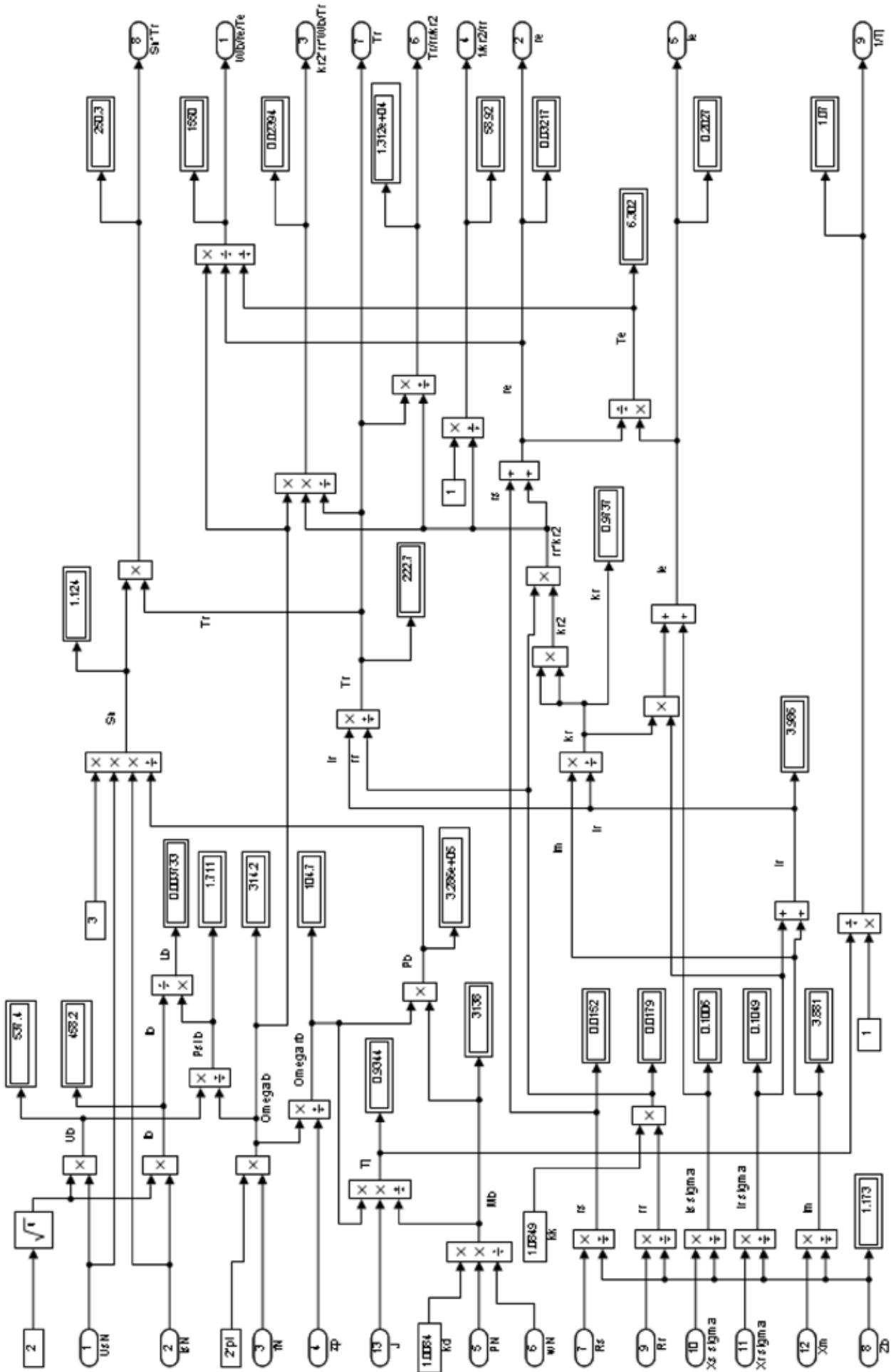


Рис. 11. Расчет коэффициентов

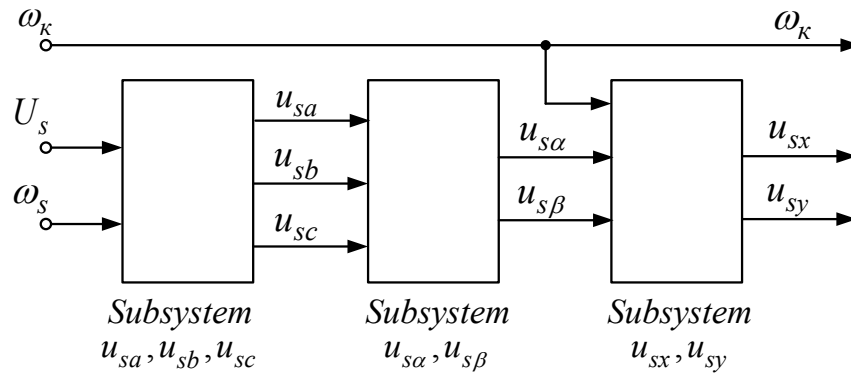


Рис. 12. Преобразователь координат

Рассмотрим каждый из этих элементов отдельно:

1. Subsystem u_{sa}, u_{sb}, u_{sc} .

Как известно, мгновенные значения трехфазного напряжения определяются через следующие формулы:

$$u_{sa} = U_s \cdot \cos \theta_s;$$

$$u_{sb} = U_s \cdot \cos \left(\theta_s - \frac{2\pi}{3} \right);$$

$$u_{sc} = U_s \cdot \cos \left(\theta_s + \frac{2\pi}{3} \right),$$

Где $\omega_s = \frac{d\theta_s}{dt}$.

Перейдя к изображениям $\frac{d}{dt} = s$:

$$\omega_s = s \cdot \theta_s \text{ или } \theta_s = \omega_s \cdot \frac{1}{s}.$$

Эти зависимости реализованы в Simulink-Matlab по следующей схеме (рис. 13):

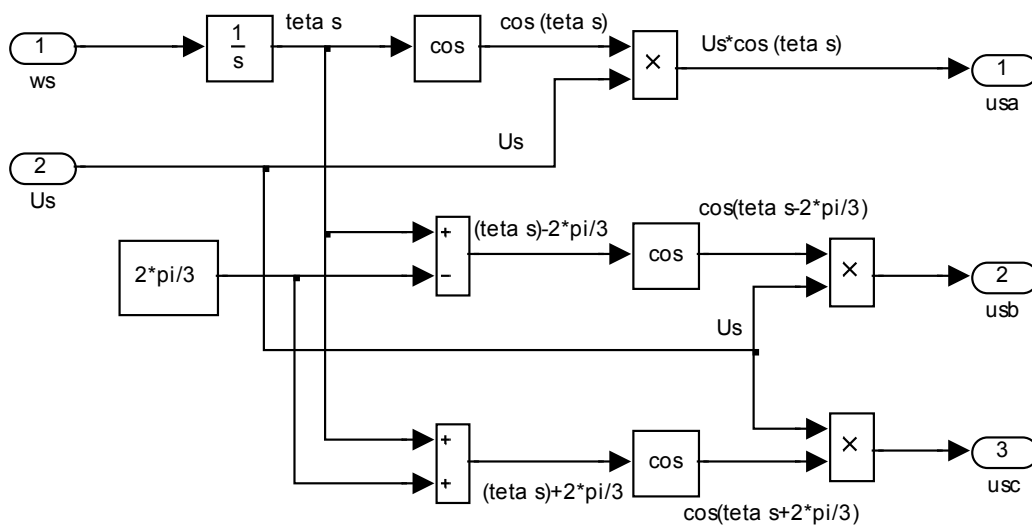


Рис. 13. Subsystem u_{sa}, u_{sb}, u_{sc}

2. Subsystem $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$.

Переход от трех мгновенных значений u_{sa}, u_{sb}, u_{sc} к пространственному вектору \vec{U}_s , вращающемуся со скоростью ω_s в неподвижной системе координат a, b, c или, наоборот, проекции вращающегося вектора \vec{U}_s на неподвижные оси a, b, c дают мгновенные значения u_{sa}, u_{sb}, u_{sc} , которые были рассмотрены в работе [2].

Можно этот же вращающийся вектор \vec{U}_s получить в двухфазной машине. Для этого необходимо питать эти обмотки от двух синусоидальных напряжений $u_{s\alpha}$ и $u_{s\beta}$ со взаимным сдвигом на 90° , или, наоборот, взяв проекции этого вращающегося вектора в неподвижной системе координат, получим мгновенные значения $u_{s\alpha}$ и $u_{s\beta}$ (рис. 14).

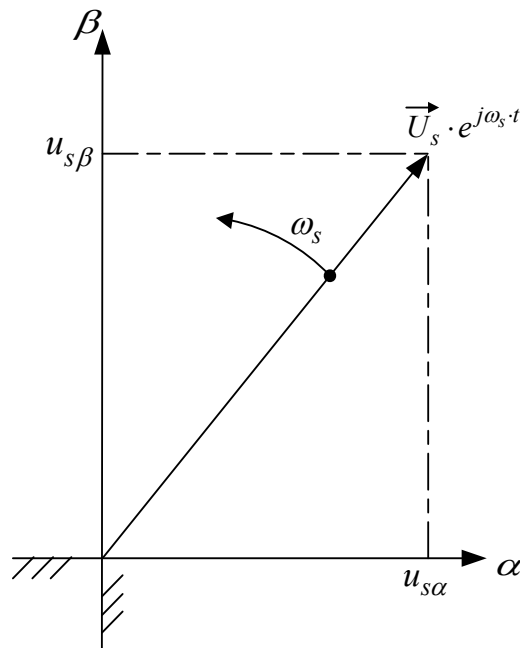


Рис. 14. Проекции вращающегося вектора \vec{U}_s на неподвижные оси α и β

Связь между мгновенными значениями u_{sa}, u_{sb}, u_{sc} и $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$ следующая [6, с. 551–553]:

$$u_{s\alpha} = \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot u_{sa} - u_{sb} - u_{sc});$$

$$u_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (u_{sb} - u_{sc}).$$

Реализация этих уравнений в Simulink-Matlab представлена на рис. 15.

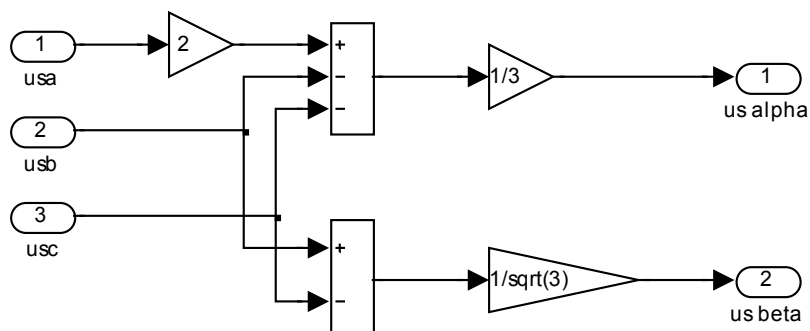


Рис. 15. Subsystem $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$

3. Subsystem u_{sx}, u_{sy} .

Переход от проекций $u_{s\alpha}$ и $u_{s\beta}$ вращающегося вектора $\overline{U}_s \cdot e^{j\omega_s t}$ в неподвижной системе координат (α, β) к проекциям этого вектора во вращающейся системе координат $\omega_k = \omega_s$ показан на рис. 15.

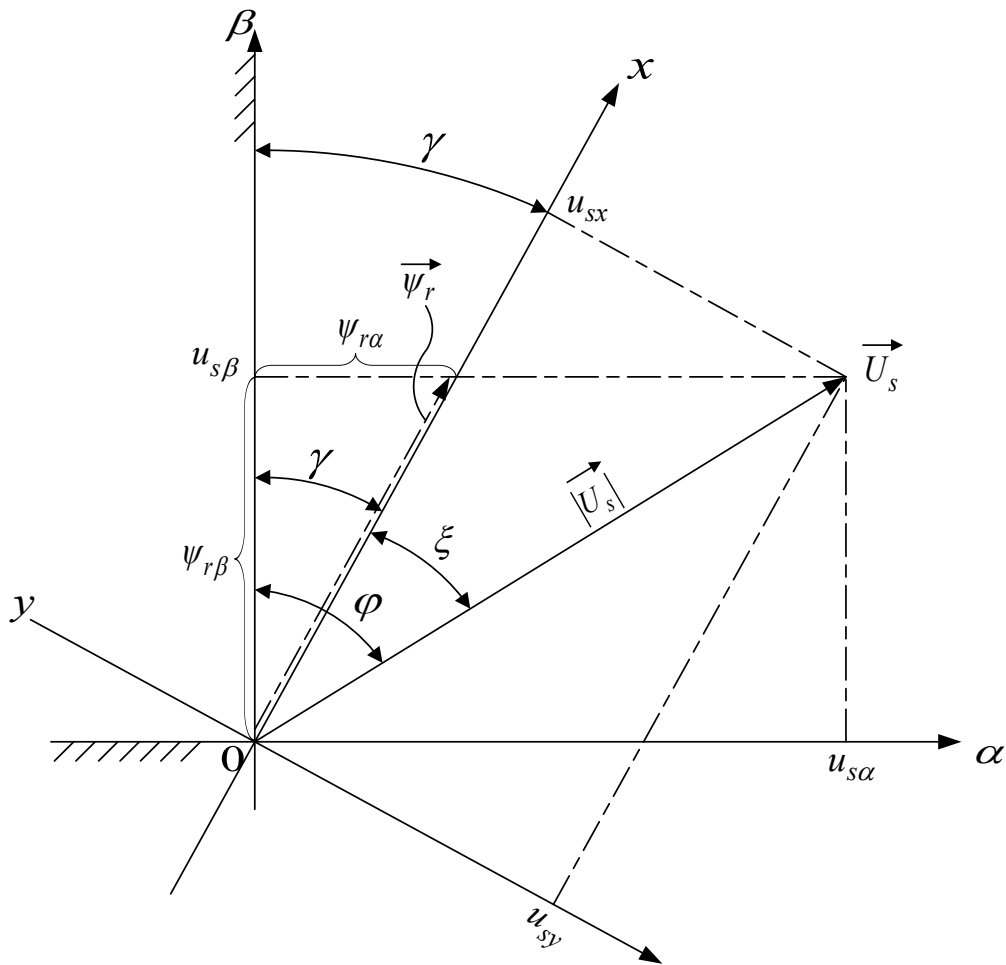


Рис. 15. Пересчет проекций вектора \overline{U}_s при переходе из одной системы координат в другую

Для пояснения этого перехода рассмотрим формулы пересчета:

$$\overline{U}_s = |U_s| \cdot e^{-j\varphi}.$$

$\varphi = \gamma + \xi$ — угол поворота вектора \overline{U}_s по отношению к $O\beta$ в системе координат $O\alpha\beta$.

$$|\overline{U}_s| = \sqrt{u_{s\alpha}^2 + u_{s\beta}^2} \text{ — модуль вектора } \overline{U}_s.$$

$\overline{U}_s = |U_s| \cdot e^{-j\xi}$ — этот же вектор в системе координат Oxy .

$u_{s\alpha}, u_{s\beta}$ — проекции вектора \overline{U}_s на оси $O\alpha$ и $O\beta$ в системе координат $O\alpha\beta$.

u_{sx}, u_{sy} — проекции вектора \overline{U}_s на оси Ox и Oy в системе координат Oxy .

γ — угол поворота между осями.

Пусть новая система координат Oxy сориентирована по вектору потокоцепления обмотки ротора $\overline{\psi}_r$, тогда координатные функции поворота (ρ_x и ρ_y) определяются по следующим зависимостям:

$$\rho_y = \sin \gamma = \frac{\psi_{r\alpha}}{|\overline{\psi}_r|} \text{ и } \rho_x = \cos \gamma = \frac{\psi_{r\beta}}{|\overline{\psi}_r|},$$

Где $|\vec{\psi}_r| = \sqrt{\psi_{rx}^2 + \psi_{ry}^2}$.

$$\begin{cases} u_{sx} = |\vec{U}_s| \cdot \cos(\varphi - \gamma) = \underbrace{|\vec{U}_s| \cdot \cos \varphi}_{u_{s\beta}} \cdot \underbrace{\cos \gamma}_{\rho_x} + \underbrace{|\vec{U}_s| \cdot \sin \varphi}_{u_{s\alpha}} \cdot \underbrace{\sin \gamma}_{\rho_y} = \rho_x \cdot u_{s\beta} + \rho_y \cdot u_{s\alpha}; \\ u_{sy} = |\vec{U}_s| \cdot \sin(\varphi - \gamma) = \underbrace{|\vec{U}_s| \cdot \sin \varphi}_{u_{s\alpha}} \cdot \underbrace{\cos \gamma}_{\rho_x} - \underbrace{|\vec{U}_s| \cdot \cos \varphi}_{u_{s\beta}} \cdot \underbrace{\sin \gamma}_{\rho_y} = -\rho_y \cdot u_{s\beta} + \rho_x \cdot u_{s\alpha}. \end{cases}$$

Для системы, вращающейся со скоростью ω_k полученные выражения можно записать в следующем виде:

$$\omega_k = \frac{d\theta_k}{dt} \rightarrow \frac{d}{dt} = s \rightarrow \omega_k = s \cdot \theta_k \rightarrow \boxed{\theta_k = \frac{1}{s} \cdot \omega_k}.$$

Обозначим $\cos \theta_k = \rho_x$; $\sin \theta_k = \rho_y$, тогда [6, с. 552]:

$$\begin{cases} u_{sx} = \rho_x \cdot u_{s\alpha} + \rho_y \cdot u_{s\beta}; \\ u_{sy} = -\rho_y \cdot u_{s\alpha} + \rho_x \cdot u_{s\beta}. \end{cases}$$

Реализация этих формул в Matlab-Simulink показана на рис. 16.

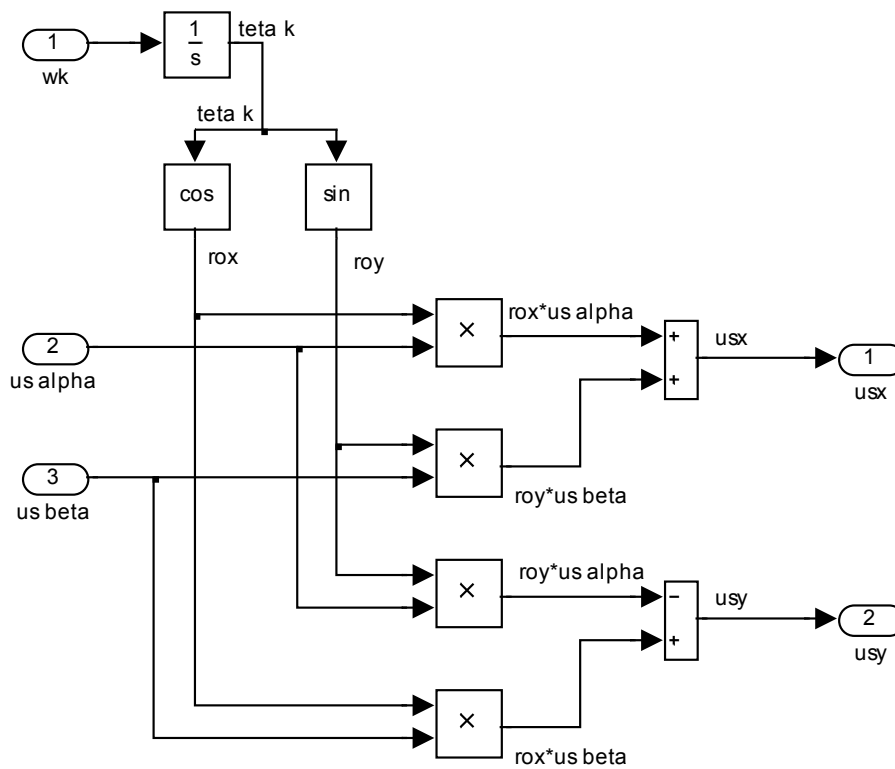


Рис. 16. Subsystem u_{sx}, u_{sy}

Общий вид преобразователя координат дан на рис. 17.

Последний элемент системы (рис. 7) блок ориентации в своей основе повторяет Subsystem u_{sx}, u_{sy} . Для учебных целей этот элемент системы необходимо выделить в отдельный блок. Изменяя γ (gamma), можно совместить систему координат с одним из векторов, например $\left(\psi_{rx} \cdot \frac{k_r}{T_r} \right)$, т.к. постоянная времени для потокосцеплений

$$T_r = \frac{l_m + l_{r\sigma}}{r_r} \approx \frac{l_m}{r_r} \text{ во много раз больше постоянных времени, связанных с индуктивностями рассеяния } l_{\sigma\sigma} \text{ или } l_{r\sigma}.$$

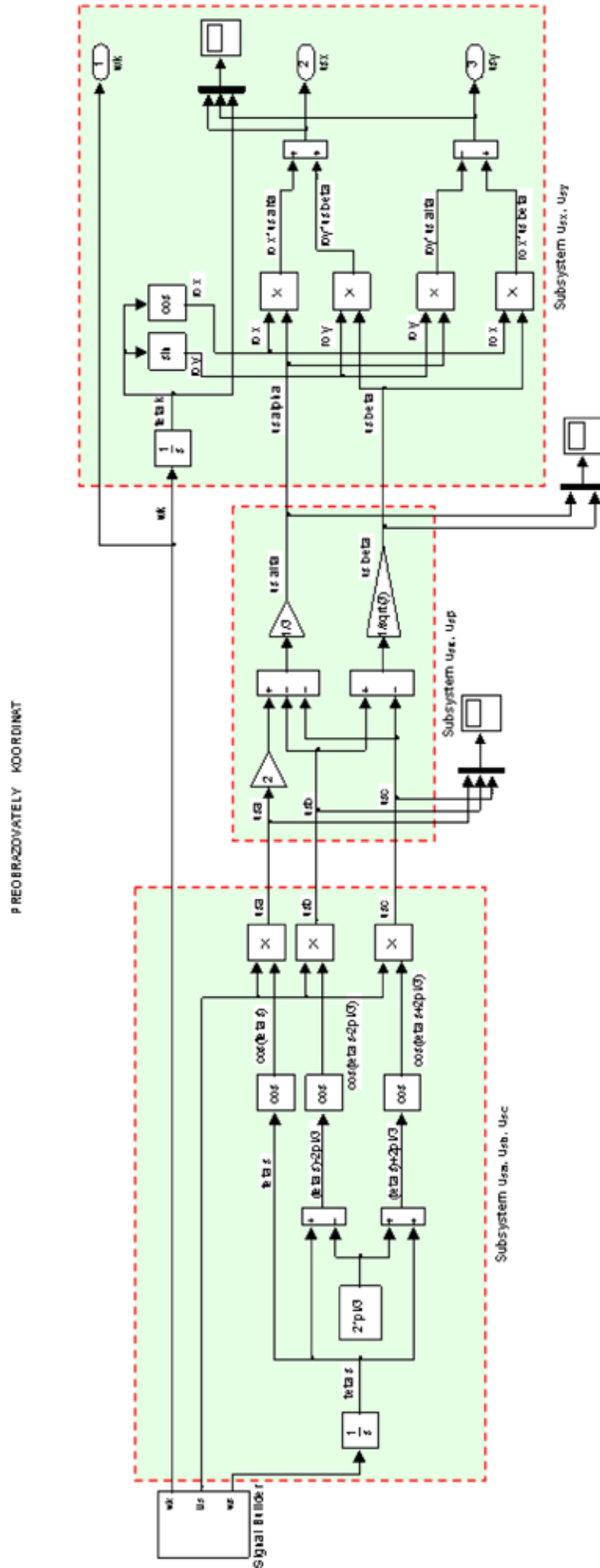


Рис. 17. Общий вид преобразователя координат

Блок ориентации, реализованный в Simulink-Matlab, представлен на рис. 18.

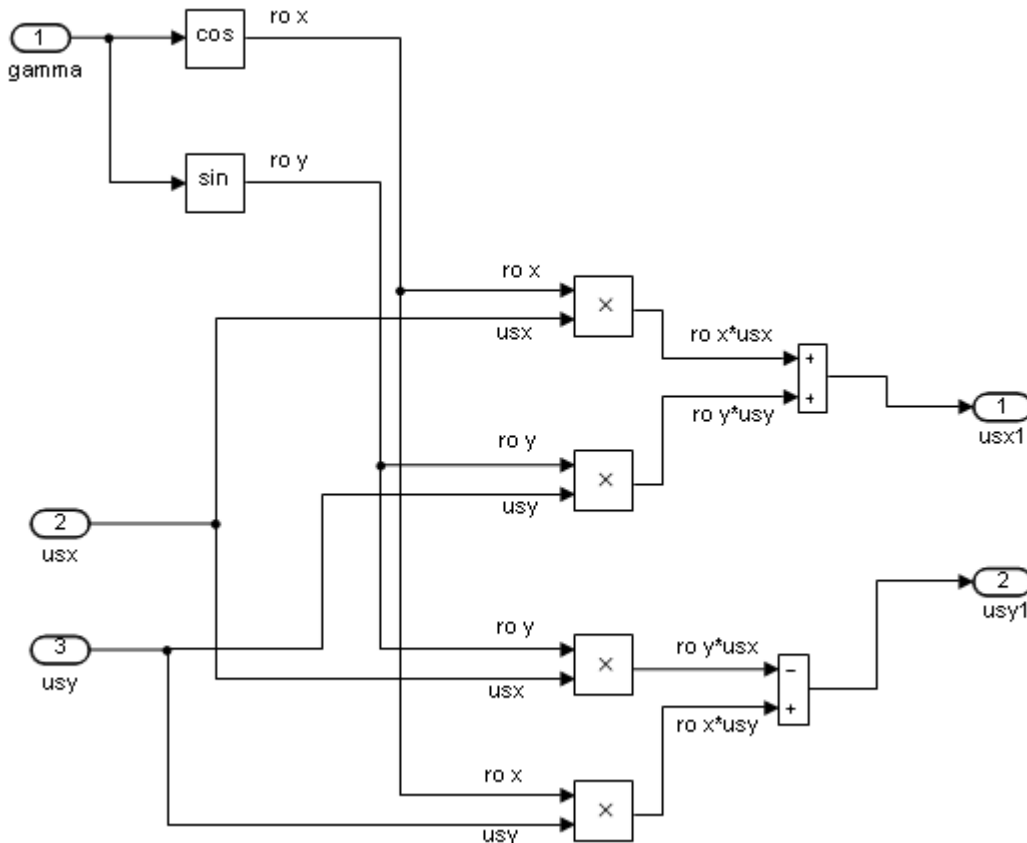


Рис. 18. Блок ориентации

Результаты моделирования системы представлены на рис. 19...23.

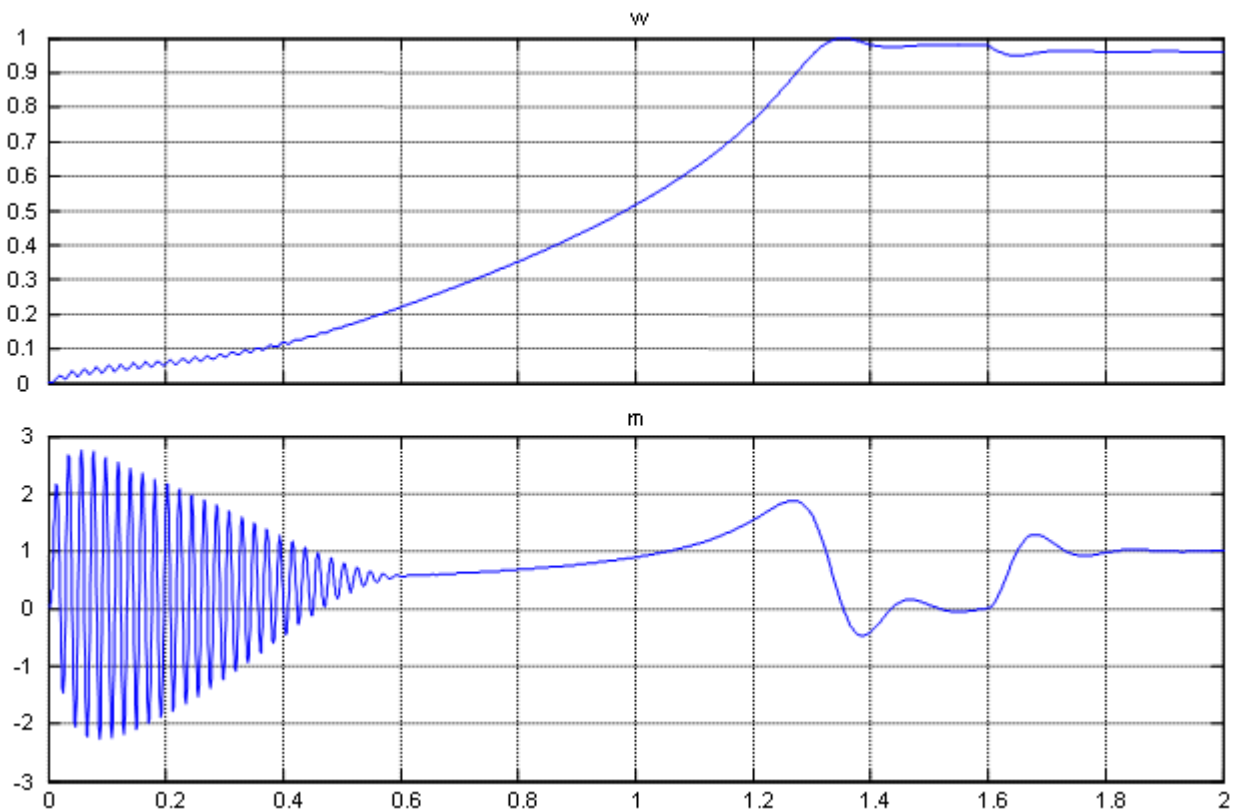


Рис. 19. Графики скорости и момента

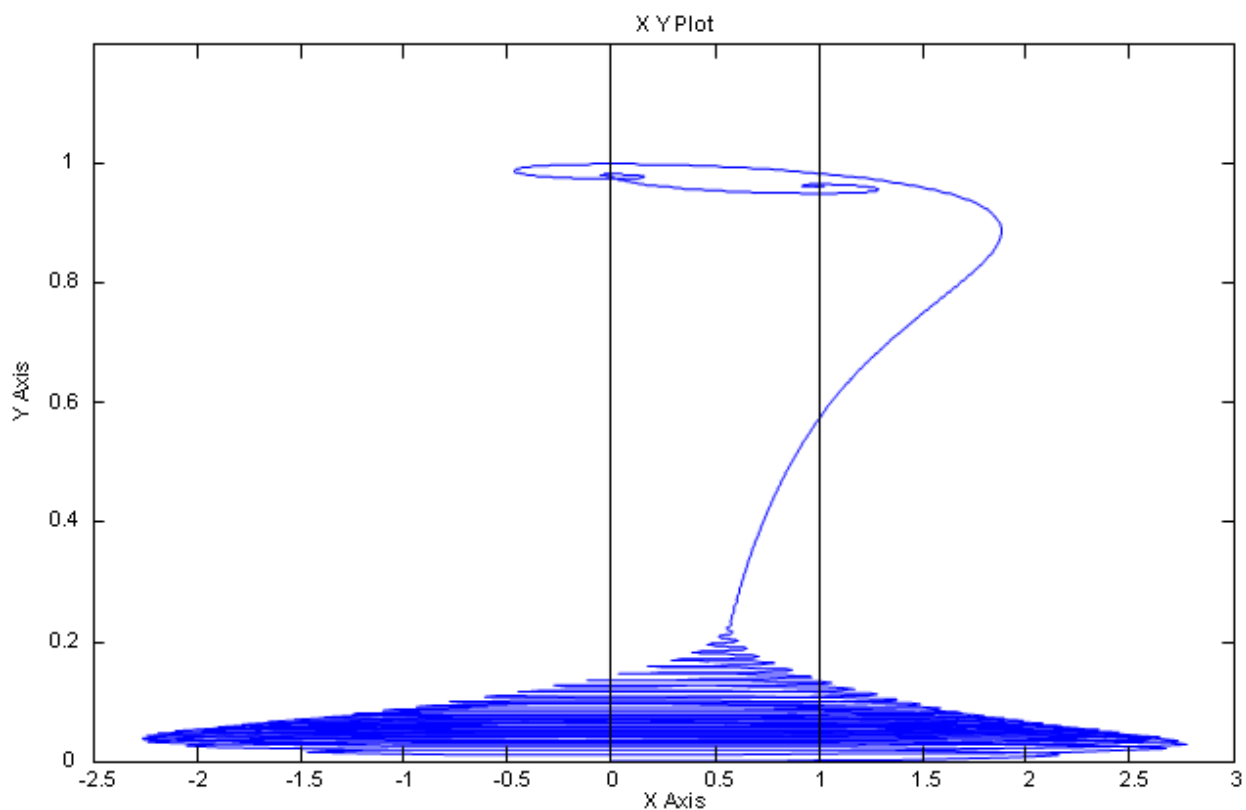


Рис. 20. Динамическая механическая характеристика при пуске и набросе нагрузки

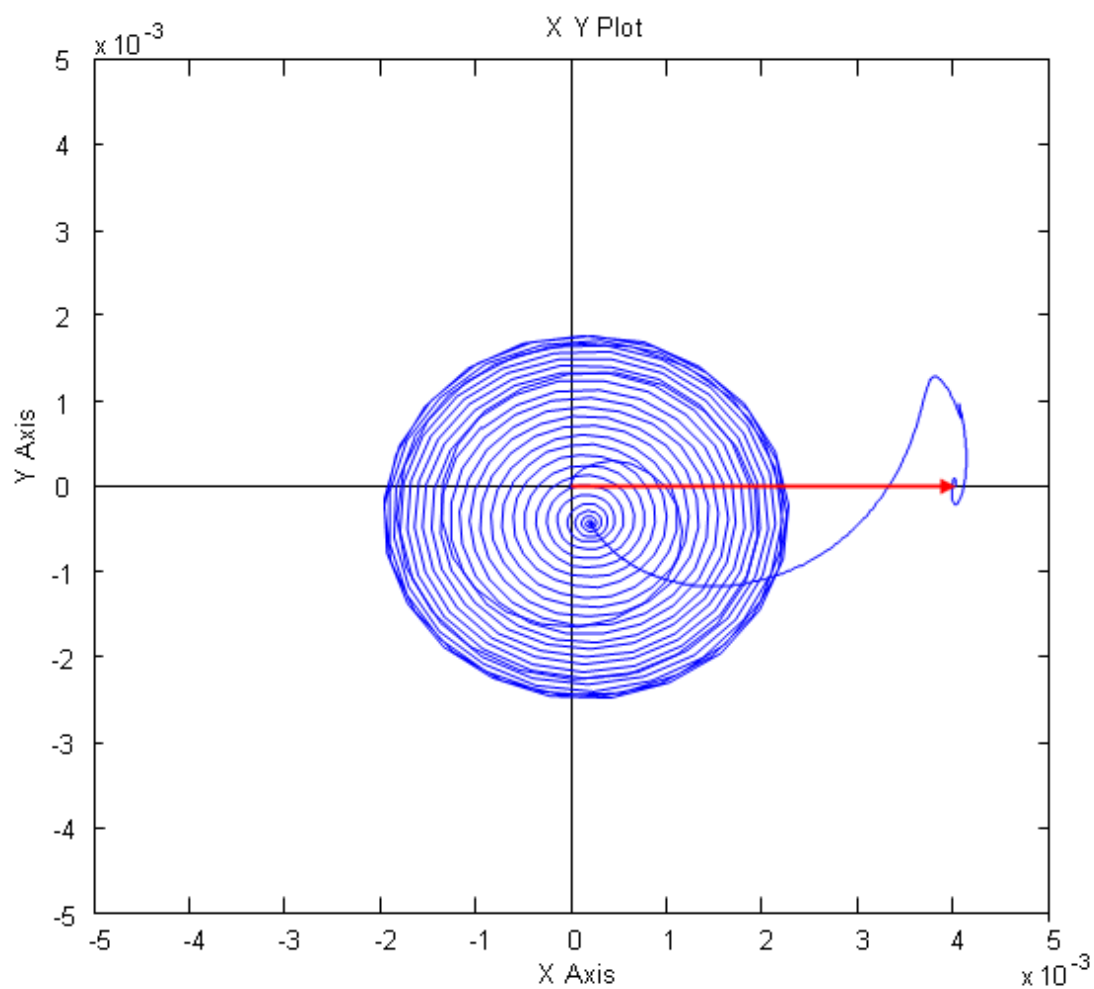


Рис. 21. Ориентация системы координат по потокоцеплению ротора

Литература:

1. Емельянов, А. А., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Киряков Г. А., Габзалилов Э. Ф., Фуртиков К. А., Реутов А. Я., Королёв О. А. Математическая модель асинхронного двигателя с переменными $\Psi_r - I_s$ в произвольной системе координат // Молодой ученый. — 2015. — № 14. — С.
2. Емельянов, А. А., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Киряков Г. А., Габзалилов Э. Ф., Фуртиков К. А., Реутов А. Я., Королёв О. А. Пространственные векторы в асинхронном двигателе в относительной системе единиц // Молодой ученый. — 2015. — № 11. — с. 133–156.
3. Емельянов, А. А., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Киряков Г. А., Габзалилов Э. Ф., Фуртиков К. А., Реутов А. Я., Королёв О. А. Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат с переменными $\Psi_r - I_s$ // Молодой ученый. — 2015. — № 13. — с. 20–31.
4. Медведев, А. В., Емельянов А. А., Клишин А. В. Математическая модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат с переменными $i_r - \Psi_r$ // Молодой ученый. — 2010. — № 4. — с. 8–24.
5. Шрейнер, Р. Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления: учеб. пособие / Р. Т. Шрейнер, А. В. Костылев, В. К. Кривовяз, С. И. Шилин. Под ред. проф. д. т. н. Р. Т. Шрейнера. — Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. — 361 с.
6. Шрейнер, Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург УРО РАН, 2000. — 654 с.

Спектральная зависимость коэффициентов эффективности поглощения наночастиц алюминия в матрице PETN

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук;
Зыков Игорь Юрьевич, аспирант
Кемеровский государственный университет

Рассчитана спектральная зависимость коэффициентов эффективности поглощения наночастиц алюминия в PETN в интервале длин волн 400–1200 нм. Показано, что при изменении длины волны света максимальный коэффициент эффективности поглощения наночастиц алюминия в PETN имеет локальный максимум в районе 850 нм, связанный с максимумом действительной части комплексного показателя преломления алюминия.

Ключевые слова: Теория Ми, коэффициент эффективности поглощения, PETN, наночастицы алюминия.

The spectral dependence of the absorption efficiency coefficients of aluminum nanoparticles in PETN matrix

Kemerovo State University

Spectral dependence of the absorption efficiency coefficients of aluminum nanoparticles in PETN was calculated in the wavelengths range 400–1200 nm. It was shown that when the wavelength of light has being changed, the maximum value of the absorption efficiency of the aluminum nanoparticles in PETN has a local maximum near 850 nm, associated with the real part maximum of the complex refractive index of aluminum.

Key words: Mie theory, the absorption efficiency coefficient, PETN, aluminum nanoparticle

Оптические свойства наночастиц металлов в прозрачных матрицах активно изучаются в экспериментальных и теоретических работах [1–6]. Предлагается использование процессов поглощения и рассеяния света наночастицами в солнечных батареях [1] и оптических детонаторах [7–8]. В первом случае рассеяние света нано-

частицами приводит к падению коэффициента отражения света от ячейки и повышению ее эффективности [1]. Во втором — поглощение энергии лазерного излучения приводит к эффективному нагреванию наночастицы и инициированию взрывного разложения матрицы энергетического материала [7–9]. На оптические свойства наночастиц металлов влияет природа металла и взрывчатого вещества (ВВ), размерные, морфологические и структурные характеристики наночастиц. Исследованы значения порогов инициирования композитов пентаэритриттетранитрата (PETN) с наночастицами алюминия. Показано, что полученные материалы проявляют чувствительность к лазерному воздействию на уровне 1 Дж/см² [10–11]. Для направленного поиска материала, определения оптимальных размеров вводимых наночастиц и параметров используемой системы инициирования взрывного разложения [12–13] необходимо провести математическое моделирование [14–15] зависимости коэффициентов эффективности поглощения наночастиц от размеров [2–8] и длины волны инициирующего импульса [16]. Целью настоящей работы является теоретическая оценка коэффициентов эффективности поглощения наночастиц алюминия в составе нанокompозита на основе PETN в диапазоне длин волн 400 ÷ 1200 нм для разработки составов оптических систем инициирования.

Расчет коэффициентов эффективности поглощения

Коэффициент эффективности поглощения (Q_{abs}) сферическим включением радиуса R рассчитывался в рамках теории Ми. Методика расчета приведена в [2–3, 17–19].

Следует отметить, что влияние длины волны в рамках теории Ми учитывается аргументами специальных функций $\rho = 2\pi R m_0 / \lambda$ и $m_i \rho / m_0$. Значения действительной и мнимой части m_i для одного и того же металла могут значительно меняться при изменении длины волны [2–8].

На рис. 1 проиллюстрированы зависимости действительной и мнимой частей комплексного показателя преломления алюминия от длины волны света [4].

Для $\lambda = 400$ нм m_i составляет величину $0.32 - 3.72i$, для $\lambda = 1200$ нм — $0.78 - 9.16i$, то есть и действительная часть и модуль мнимой части увеличивается почти в 2.5 раза (рис. 1). В районе 850 нм на зависимости действительной части $m_i(\lambda)$ наблюдается локальный максимум, а зависимость мнимой части претерпевает перегиб.

Рассчитаны зависимости коэффициентов эффективности поглощения Q_{abs} от радиуса наночастиц алюминия (R) в PETN ($m_0 = 1.54$) [20] для длин волн 400, 532, 800, 1064 и 1200 нм (рис. 2.). Каждая зависимость имеет максимум ($Q_{abs\ max}$), положение которого (R_m) определяется длиной волны света. При меньших радиусах ($R \leq R_x$) кривая спадает до нуля, причем в пределе $R \rightarrow 0$ выполняется закон Рэлея. При больших радиусах происходит плавное уменьшение с незначительными колебаниями, амплитуда и частота которых зависит от длины волны.

Основным параметром, определяющим зависимость $Q_{abs}(R)$ является комплексный показатель преломления (m_i), который в свою очередь зависит от материала наночастицы и длины волны (λ) падающего излучения. В таблице 1 представлены значения m_i в интервале 400 ÷ 1200 нм [4]. Для получения значений при длинах волн, от-

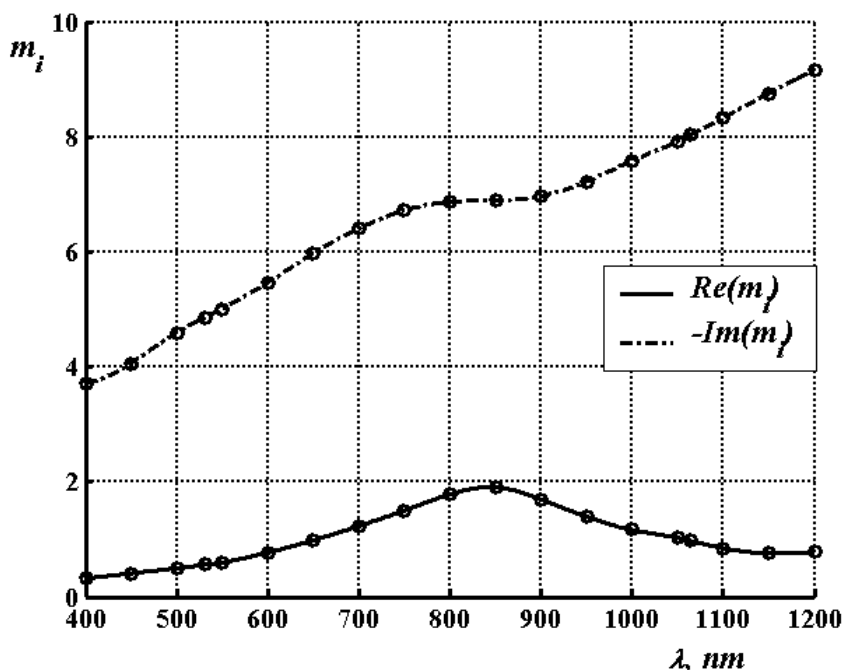


Рис. 1. Зависимости действительной $Re(m_i)$ и мнимой $-Im(m_i)$ частей комплексного показателя преломления алюминия от длины волны [4]

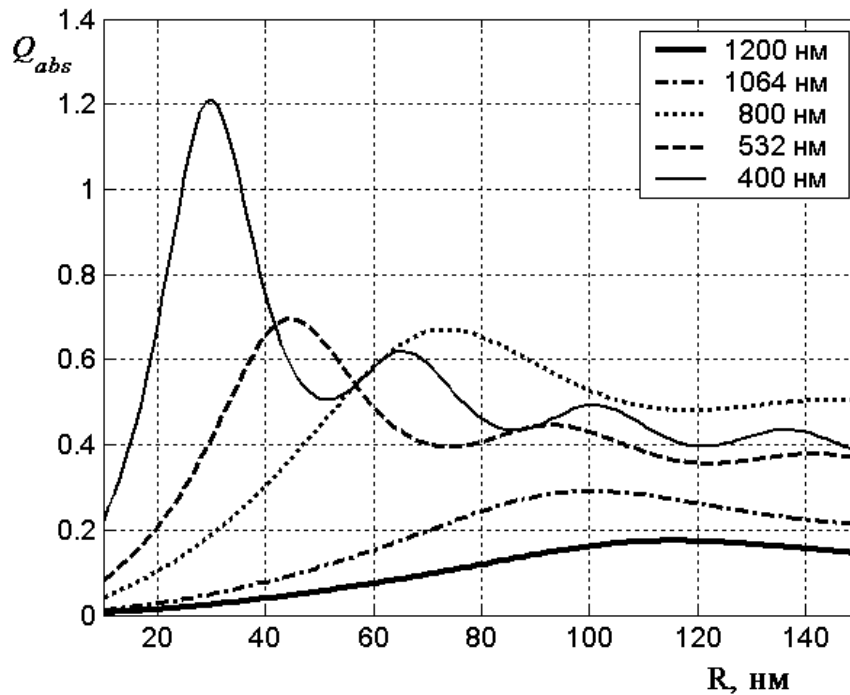


Рис. 2. Рассчитанные зависимости коэффициентов эффективности поглощения (Q_{abs}) света алюминия в матрице PETN от радиусов наночастиц для длин волн 400, 532, 800, 1064, 1200 нм.

существующих в источнике, проводился метод квадратичной интерполяции по трем ближайшим точкам [21].

Для иллюстрации особенностей поглощения света наночастицами алюминия в PETN на Рис. 3 представлена спектральная зависимость максимального значения коэффициента эффективности поглощения.

Максимальный коэффициент эффективности поглощения алюминия в PETN уменьшается с ростом длины волны. Для длины волны 400 нм $Q_{abs} = 1.210$, а с $\lambda = 1200$ нм почти в 7 раз меньше — 0.174. На зависимости (Рис. 3) наблюдается локальный максимум при $\lambda = 850$ нм, связанный с локальным максимумом на зависимости действи-

Таблица 1. Рассчитанные параметры поглощения композитов PETN-алюминий для длины волны (λ): комплексный показатель преломления (m_i) [4], максимальный коэффициент эффективности поглощения ($Q_{abs max}$), радиус с максимальным коэффициентом эффективности поглощения R_m .

λ , нм	m_i	$Q_{abs max}$	R_m , нм
400	0.32–3.72i	1.210	29.9
450	0.41–4.06i	1.021	35.1
500	0.50–4.59i	0.769	41.1
532	0.56–4.86i	0.696	44.7
550	0.60–5.01i	0.670	52.2
600	0.77–5.46i	0.634	57.9
650	0.98–5.97i	0.602	63.4
700	1.26–6.40i	0.615	68.6
750	1.50–6.72i	0.625	73.5
800	1.78–6.87i	0.671	78.2
850	1.91–6.90i	0.696	80.4
875	1.82–6.87i	0.681	82.9
900	1.70–6.97i	0.631	88.1
950	1.40–7.22i	0.505	93.6
1000	1.17–7.58i	0.390	100.6
1064	0.98–8.03i	0.292	100.6
1100	0.85–8.33i	0.235	104.6
1200	0.78–9.16i	0.174	115.6

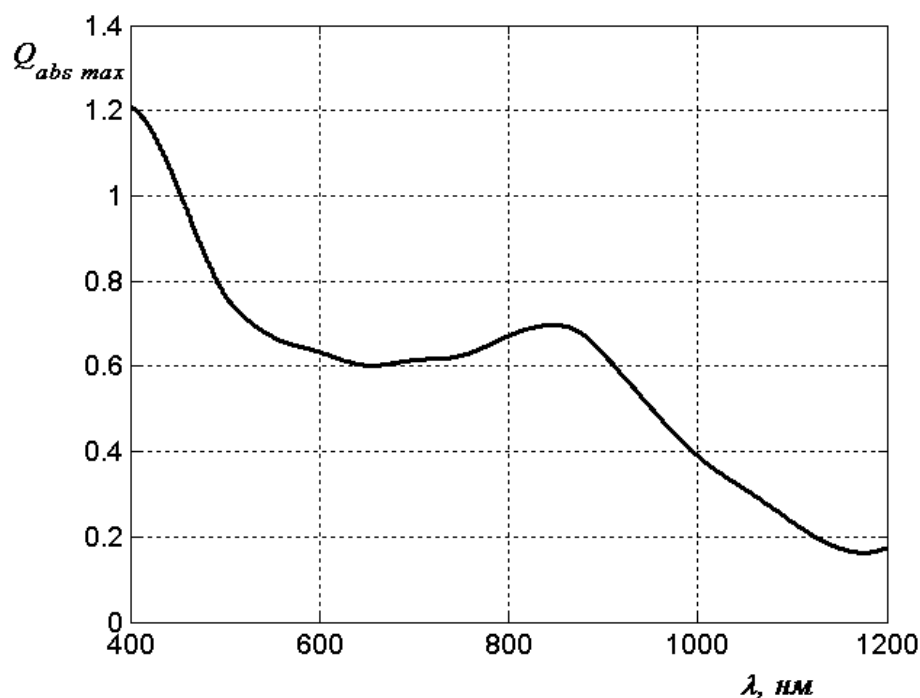


Рис. 3. Рассчитанная спектральная зависимость максимального значения коэффициента эффективности поглощения света наночастицами алюминия в PETN

тельной и перегибом у мнимой части комплексных показателей преломления алюминия от длины волны (Рис. 1).

В работах [10,11,22–24] теоретически исследована спектральная зависимость критической плотности энергии иницирования взрывного разложения нанокompозитов PETN-алюминий. Экспериментально измерены значения критической плотности энергии лазерного иницирования PETN, содержащего наночастицы алюминия, на длине волны 1064 и 532 нм [25–26]. Критическая плотность энергии иницирования, соответствующая 50% вероятности взрыва, для первой гармоники неодимового лазера составила 1.15 Дж/см², для второй — 0.7 Дж/см². Для первой гармоники максимум эффективности поглощения составляет 0.292, для второй — 0.696. Отношение

критических плотностей энергии иницирования на второй и первой гармониках неодимового лазера составляет 1.65 [25–26]. Максимальный коэффициент эффективности поглощения алюминия в PETN также уменьшается с ростом длины волны от второй к первой гармонике неодимового лазера. Однако это уменьшение составляет 2.4 и несколько больше, чем отношение порогов иницирования взрывного разложения (1.65). Для более точного прогноза взрывной чувствительности нанокompозитов PETN-алюминий, необходимого для разработки оптического детонатора [27–28], требуется дополнительно учитывать процессы теплопереноса при лазерном разогреве включений [29–31] увеличения освещенности в образце за счет многократного рассеяния излучения импульса [32–33].

Литература:

1. Wang H.-H., Su Ch., Wu Ch.-Y., Tsai H.-B., Li Ch.-Y., Li W.-R. // Thin Solid Films. 2013. V. 529. pp. 15–18.
2. Адуев, Б. П. Исследование оптических свойств наночастиц алюминия в тетранитропентаэритрите с использованием фотометрического шара/Б. П. Адуев, Д. Р. Нурмухаметов и др. // ЖТФ. — 2014. — Т. 84. — № 9. — с. 126–131.
3. Газенаур, Н. В. Зависимость показателя поглощения меди от длины волны/Н. В. Газенаур, И. Ю. Зыков, А. В. Каленский // Аспирант. — 2014. — № 5. с. 89–93.
4. Каленский, А. В. Расчет коэффициентов эффективности поглощения наночастиц алюминия в прозрачных средах/А. В. Каленский, И. Ю. Зыков, А. П. Никитин // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2015. — № 1. — с. 15–19.
5. Каленский, А. В. Оптические характеристики наночастиц никеля в прозрачных матрицах/А. В. Каленский, М. В. Ананьева, А. П. Никитин // Современные научные исследования и инновации. — 2014. — № 11–1 (43). — с. 5–13.
6. Каленский, А. В. Коэффициенты эффективности поглощения наночастиц кобальта в прозрачных средах/А. В. Каленский, М. В. Ананьева // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2015. № 5 (218). с. 56–60.

7. Никитин, А. П. Расчет критических параметров инициирования теплового взрыва тэна с наночастицами меди на разных длинах волн/А. П. Никитин // Современные фундаментальные и прикладные исследования. — 2013. — № 4 (11). — с. 68–75.
8. Ананьева, М. В. Перспективные составы для капсуля оптического детонатора/М. В. Ананьева, А. А. Звекон, И. Ю. Зыков и др. // Перспективные материалы. — 2014. — № 7. — с. 5–12.
9. Ananyeva, M. V. The size effects and before-threshold mode of solid-state chain reaction/М. V. Ananyeva, A. V. Kalenskii // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. — 2014. — Т. 7. — № 4. — с. 470–479.
10. Kalenskii, A. V. Spectral regularities of the critical energy density of the pentaerythriol tetranitrate-aluminium nanosystems initiated by the laser pulse/А. V. Kalenskii, М. V. Ananyeva // Наносистемы: физика, химия, математика. — 2014. — Т. 5. — № 6. — с. 803–810.
11. Каленский, А. В. Взрывная чувствительность композитов тэн-алюминий к действию импульсного лазерного излучения/А. В. Каленский, И. Ю. Зыков, М. В. Ананьева и др. // Вестник КемГУ. — 2014. — № 3–3 (59). — с. 211–217.
12. Боровикова, А. П. Пространственно-временные характеристики волны горения в азиде серебра/А. П. Боровикова, А. В. Каленский, И. Ю. Зыков // Аспирант. — 2014. — № 3. — с. 37–42.
13. Каленский, А. В. Коэффициент захвата электронных носителей заряда на экранированном отталкивающем центре/А. В. Каленский, М. В. Ананьева, В. Г. Кригер, А. А. Звекон // Химическая физика. — 2014. — Т. 33. — № 4. — с. 11–16.
14. Масленников, Д. А. Столкновение лесного пожара с водным барьером/Д. А. Масленников, Н. А. Лощилова, А. А. Лошилов // Nauka-Rastudent.ru. — 2014. — № 12–1. — с. 42.
15. Боровикова, А. П. Методика моделирования распространения взрывного разложения азида серебра/А. П. Боровикова, А. В. Каленский // Аспирант. — 2014. — № 4. — с. 96–100.
16. Ananyeva, M. V. Comparative analysis of energetic materials explosion chain and thermal mechanisms/М. V. Ananyeva, V. G. Kriger, A. V. Kalenskii and others // Известия высших учебных заведений. Физика. — 2012. — Т. 55. — № 11–3. — с. 13–17.
17. Kalenskii, A. V. The Microcenter Heat Explosion Model Modernization/А. V. Kalenskii, V. G. Kriger, A. A. Zvekov and others // Известия ВУЗов. Физика. — 2012. — Т. 55. — № 11–3. — с. 62–65.
18. Каленский, А. В. Спектральная зависимость критической плотности энергии инициирования композитов на основе пентаэритриттетранитрата с наночастицами никеля/А. В. Каленский, М. В. Ананьева, А. А. Звекон и др. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2014. — Т. 11. — № 3. — с. 340–345.
19. Кригер, В. Г. Механизмы взрывного разложения энергетических веществ при инициировании лазерным излучением/В. Г. Кригер, А. В. Каленский, М. В. Ананьева и др. // Известия ВУЗов. Физика. — 2011. — Т. 54. — № 1 (3). — с. 18–23.
20. Ананьева, М. В. Моделирование взрывного разложения тэна в рамках модернизированной модели горячей точки/М. В. Ананьева, А. В. Каленский, А. П. Никитин и др. // Известия ВУЗов. Физика. — 2013. — Т. 56. — № 9–3. — с. 111–113.
21. Одинцова, О. В. Расчет взрывной чувствительности композитов пентаэритриттетранитрат-серебро к действию лазерного импульса/О. В. Одинцова // Современные фундаментальные и прикладные исследования. — 2014. — № 4 (15). — с. 38–43.
22. Ананьева, М. В. Кинетические закономерности взрывного разложения ТЭНа, содержащего наноразмерные включения алюминия, кобальта и никеля/М. В. Ананьева, А. В. Каленский, Е. А. Гришаева и др. // Вестник КемГУ. — 2014. — № 1–1 (57). — с. 194–200.
23. Адуев, Б. П. Микроочаговая модель лазерного инициирования взрывного разложения энергетических материалов с учетом плавления./Б. П. Адуев, М. В. Ананьева, А. А. Звекон и др. // ФГВ. — 2014. — Т. 50, — № 6. — с. 92–99.
24. Зыков, И. Ю. Критическая плотность энергии инициирования тэна с добавками наночастиц алюминия/И. Ю. Зыков // Современные фундаментальные и прикладные исследования. — 2013. — Т. 1. — № 1 (8). — с. 79–84.
25. Адуев, Б. П. Взрывчатое разложение ТЭНа с нанодобавками алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны/Б. П. Адуев, Д. Р. Нурмухаметов, Р. И. Фурега и др. // Химическая физика. — 2013. — Т. 32. — № 8. — с. 39–42.
26. Каленский, А. В. Влияние длины волны лазерного излучения на критическую плотность энергии инициирования энергетических материалов/А. В. Каленский, А. А. Звекон, М. В. Ананьева и др. // ФГВ. — 2014. — Т. 50. — № 3. — с. 98–104.

27. Кригер, В.Г. Релаксация электронно-возбужденных продуктов твердофазной реакции в кристаллической решетке/В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон // Химическая физика. — 2012. — Т. 31. — № 1. — с. 18–22.
28. Адуев, Б.П. Модификация свойств взрывчатых материалов добавками нанодисперсных энергоемких металлических частиц/Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, А.А. Звекон и др. //Химия в интересах устойчивого развития. — 2015. — Т. 23. — № 2. — с. 183–192.
29. Кригер, В.Г. Процессы теплопереноса при лазерном разогреве включений в инертной матрице/В.Г. Кригер, А.В. Каленский, А.А. Звекон и др. // Теплофизика и аэромеханика. — 2013. — Т. 20. — № 3. — с. 375–382.
30. Кригер, В.Г. Физико-химические основы микроочаговой модели взрывного разложения энергетических материалов/В.Г. Кригер, А.В. Каленский, М.В. Ананьева и др.// Известия ВУЗов. Физика. — 2013. — Т. 56. — № 9–3. — с. 175–181.
31. Каленский, А.В. Кинетические закономерности взрывчатого разложения таблеток тетранитропентаэритрит-алюминий/А.В. Каленский, М.В. Ананьева, А.А. Звекон, И.Ю. Зыков // ЖТФ. — 2015. — Т. 85. — № 3. — с. 119–123.
32. Zvekov, A. A. Regularities of light diffusion in the compo site material pentaery thriol tetranitrate — nickel/A. A. Zvekov, M. V. Ananyeva, A. V. Kalenskii and others // Наносистемы: физика, химия, математика. — 2014. — Т. 5. — № 5. — с. 685–691.
33. Звекон, А.А. Моделирование распределения интенсивности в прозрачной среде с Френелевскими границами, содержащей наночастицы алюминия/А.А. Звекон, А.В. Каленский, А.П. Никитин и др.// Компьютерная оптика. — 2014. — Т. 38. — № 4. — с. 749–756.

ХИМИЯ

Кинетика пероксидазного окисления гидрохинона перекисью водорода

Аронбаев Дмитрий Маркиэлович, кандидат химических наук, доцент
Самаркандский государственный университет имени А. Навои (Узбекистан)

Спектрофотометрическим методом изучена кинетика пероксидазного окисления гидрохинона перекисью водорода в зависимости от концентрации субстратов и рН растворов.

Установлено, что ферментативная реакция имеет первый порядок по перекиси водорода в диапазоне концентраций перекиси водорода 0,06–0,46 мМоль и несколько более — 1 при 1,0–3,0 мМоль. Это объясняется ингибированием ферментативной реакции высокими концентрациями перекиси водорода. Порядок ферментативной реакции по гидрохинону также близок к первому практически во всем диапазоне концентраций гидрохинона (0,2–1,5 мМоль).

В диапазоне рН 3,6–7,4 зависимость скоростей ферментативной реакции от концентрации перекиси водорода имеет первый порядок. При повышении рН скорость ферментативной реакции возрастает, и процесс каталитического окисления гидрохинона практически не зависит от рН вплоть до значений рН 8,0.

Оптимизирован состав субстратной смеси для осуществления реакции пероксидазного окисления гидрохинона перекисью водорода, пригодной для аналитических целей, который может быть представлен следующим соотношением компонентов:

Гидрохинон — 10^{-3} – 10^{-2} М

Перекись водорода — 10^{-3} – $5 \cdot 10^{-3}$ М

Сульфит натрия — 0,05–0,1 М

рН — 7,5–8,5

Ключевые слова: пероксидаза хрена, перекись водорода, гидрохинон, пероксидазное окисление, кинетика, начальная скорость, константа Михаэлиса, бесконкурентное ингибирование.

Введение

Пероксидазный катализ находит все большее применение в аналитической практике для определения широкого круга веществ органической и неорганической природы, а также в хемо- и биосенсорике [1–4]. При этом выбор медиаторной реакции, катализируемой пероксидазой, играет чуть ли не решающую роль в построении аналитической системы.

Ранее нами была изучена реакция пероксидазного окисления иодид-ионов перекисью водорода с целью ее применения в электрохимических системах с амперометрической детекцией [5,6]. Очевидно, подобные предположения можно отнести и к другим электрохимически обратимым системам, например, ферро-ферри-цианид, хинон-гидрохинон и др. [7–9] Из перечисленных медиаторов система хинон-гидрохинон относится к быстро окисляемым обратимым реакциям, которую помимо потенциометрической регистрации можно наблюдать и с использованием фотографической детекции. [10,11]. Последнее обусловлено способностью гидрохинона и его производных участвовать в реакциях с галогенидами серебра, входящих в фоточувствительный слой преобразователя информации. [12,13]

Целью настоящего исследования является изучение закономерностей реакции окисления гидрохинона перекисью водорода в присутствии пероксидазы хрена.

Экспериментальная часть

Исходные вещества, рабочие растворы и оборудование

В работе использовали препараты пероксидазы хрена фирмы «Reanal» (Венгрия) с $RZ = 0,6$. При изучении механизма и кинетики пероксидазных реакций использовали пероксидазу НПО «Биолар» с $RZ = 2,9$ – $3,2$ активностью 820 ед/мг.

Для определения точной концентрации пероксидазы измеряли оптическую плотность водного раствора пероксидазы при $\lambda_{403 \text{ нм}}$ и с учетом коэффициента молярного поглощения рассчитывали концентрацию пероксидазы по эмпирической формуле: $C = 0,44 \cdot A$, где A — оптическая плотность раствора. Растворы с меньшей концентрацией пероксидазы готовили ежедневно разбавлением исходного раствора пероксидазы.

Перекись водорода, ос. ч. использовали без дополнительной очистки. Концентрацию перекиси водорода устанавливали еженедельно перманганатным методом [14]. Рабочие растворы перекиси водорода готовили разбавлением исходного раствора перекиси водорода бидистиллированной водой. Концентрацию полученных растворов контролировали также спектрофотометрически с учетом коэффициента молярного поглощения $\varepsilon_{230 \text{ нм}} = 72,7 \text{ М}^{-1} \text{ см}^{-1}$ [15].

Для приготовления буферных растворов применяли фиксаналы соответствующих веществ.

Раствор бензохинона для снятия спектров поглощения готовили растворением в теплой дистиллированной воде кристаллов дважды возоганного бензохинона.

Дистиллированная вода, используемая в работе имела удельную электропроводность не более 0,2 мкСименс/см.

В работе использовали кварцевую, стеклянную и тефлоновую посуду, которую предварительно очищали концентрированной соляной и азотной кислотами (х. ч.) и тщательно промывали большими количествами деионизованной воды. Для приготовления эталонных растворов использовали мерную посуду 1 и 2 классов точности.

Отбор малых объемов жидкости (10–200 мкл) производили с помощью автоматических микродозаторов «Varipette» (Польша) с погрешностью не более 2%.

Оптическую плотность растворов измеряли во времени на спектрофотометрах СФ-46 (ЛОМО, Санкт-Петербург) и «Specord-UV-Vis» (Германия) с использованием кварцевой кюветы с $l = 10,0 \text{ мм}$. Фотометрическая точность приборов составляла $\pm 1\%$ от величины оптической шкалы. Точность установки длины волны не менее $\pm 0,3\text{--}0,4 \text{ нм}$. Запись спектров и кинетических кривых осуществляли на спектрофотометре «Specord-UV-Vis» с использованием «обзорного» масштаба.

Кинетику реакции ферментативного окисления гидрохинона с концентрацией последнего более 10^{-3} М изучали потенциометрически с использованием электрода ЭО-2 Гомельского ЗИП и ЭВЛ1-М3, подключенных к иономеру И-130. Измерение потенциала гальванической ячейки регистрировали автоматически на потенциометре КСП-4.

Методика эксперимента

Кинетику ферментативных реакций изучали по начальным скоростям индикаторной реакции [16].

Для этого в кварцевую кювету с $l = 10,0 \text{ мм}$ последовательно вносили 2,7 мл раствора гидрохинона ($10^{-5}\text{--}10^{-2} \text{ М}$) и пероксидазы в буфере с определенным значением рН и 0,3 мл перекиси водорода (0,02–0,2 мМоль) в том же буфере. Смесь быстро перемешивали и регистрировали изменение оптической плотности при максимуме поглощения бензохинона $\lambda_{250 \text{ нм}}$. [15]

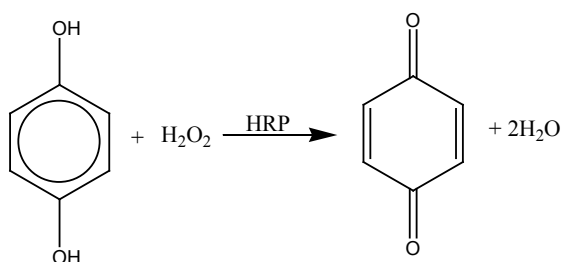
Для учета фоновой реакции параллельно снимали кинетические характеристики реакции взаимодействия перекиси водорода и гидрохинона, взятых в тех же концентрациях, но в отсутствии фермента.

Скорость реакции характеризовали концентрацией образования бензохинона в единицу времени. Концентрацию веществ рассчитывали, используя значение коэффициентов молярного поглощения. Значения кажущихся констант Михаэлиса K_M и максимальную скорость реакции v находили графически путем получения зависимости начальной скорости реакции от концентрации субстрата, построенных в двойных обратных координатах Лайнуивера-Берка. [17].

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 приведены спектры поглощения водных растворов гидрохинона и бензохинона.

Если учесть реакции, протекающие в растворе



то за кинетикой реакции можно следить по скорости изменения концентрации бензохинона, которая может быть рассчитана по формуле:

$$[C_6H_4O_2] = \frac{A}{\varepsilon}$$

где A — оптическая плотность; ε — молярный коэффициент поглощения бензохинона при $\lambda_{250 \text{ нм}}$

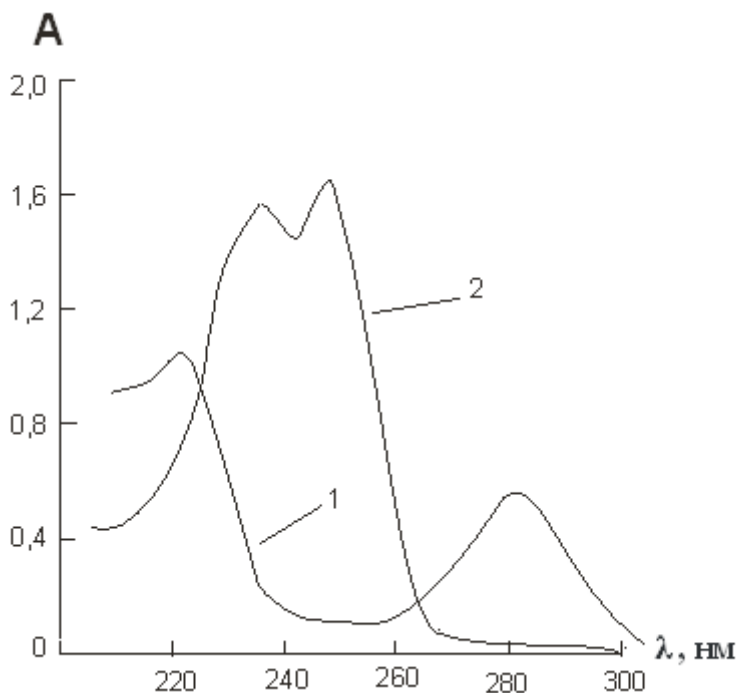


Рис. 1. Спектры поглощения гидрохинона (1) и бензохинона (2) в водных растворах

Уменьшение концентрации перекиси водорода в фермент-субстратной смеси описывается уравнением

$$-\Delta[H_2O_2] = [C_6H_4O_2] = \frac{A}{\varepsilon}$$

Приняв за скорость реакции отношение изменения оптической плотности за промежуток времени $\frac{dA}{dt}$, правильно записать:

$$-\frac{d[H_2O_2]}{dt} = \frac{dA/dt}{\varepsilon}$$

Однако, помимо ферментативной реакции идет и самопроизвольное окисление гидрохинона перекисью водорода, которое вносит свой вклад в изменение оптической плотности. Этот процесс может быть описан как:

$$\left(-\frac{d[H_2O_2]}{dt} \right)_{\text{произв.}} = k \cdot [C_6H_4(OH)_2]^m \cdot [H_2O_2]^n$$

где k — константа скорости самопроизвольной реакции;

m и n — числовые коэффициенты, соответствующие порядку реакции.

Из литературных данных [18] следует, что m равен n и порядок неферментативной реакции соответствует двум.

Таким образом, пероксидазное окисление гидрохинона перекисью водорода следует рассматривать как суммарный процесс ферментативного и произвольного окисления гидрохинона:

$$-\frac{d[H_2O_2]}{dt} = \left(-\frac{d[H_2O_2]}{dt} \right)_{\text{произв.}} + \left(-\frac{d[H_2O_2]}{dt} \right)_{\text{ферм.}}$$

Или с учетом вышеприведенных значений имеем:

$$\left(-\frac{d[H_2O_2]}{dt} \right)_{\text{ферм.}} = \frac{dA/dt}{\varepsilon} = k[H_2O_2] \cdot [C_6H_4(OH)_2]$$

Выведенное уравнение для расчета начальных скоростей реакции позволяет теоретически оценить скорость ферментативной реакции и сравнить с экспериментальными значениями.

Предварительно нами получена зависимость линейного изменения оптической плотности от времени экспозиции ферментативной реакции и концентрации пероксидазы.

Установлено, что линейное изменение зависимости оптической плотности от времени протекания ферментативной реакции наблюдается в интервале 0,5–1,5 минуты при концентрации фермента 0,25–1,0 нМ (см. рис. 2).

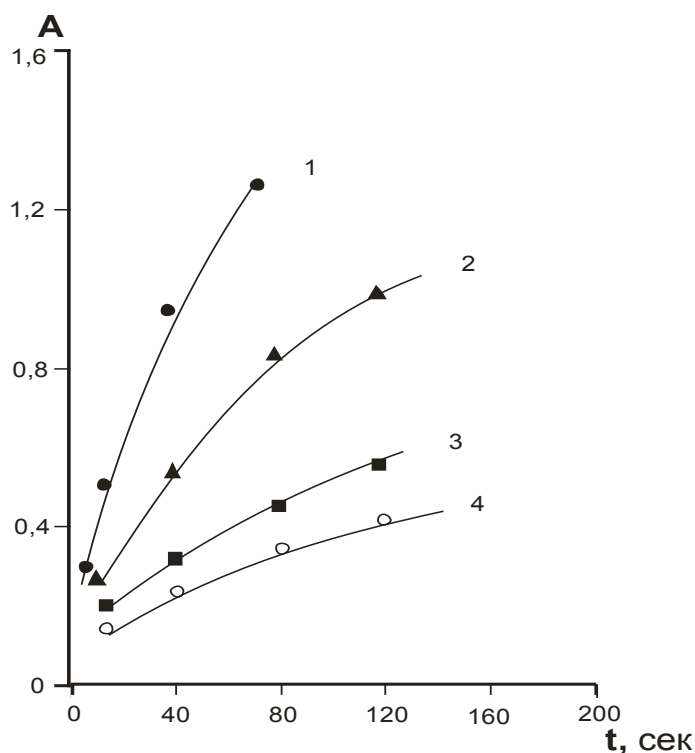


Рис. 2. Зависимость изменения оптической плотности раствора от времени экспозиции ферментативной реакции

Условия: pH 6,8; концентрация HRP 30 нг/мл;
 концентрация гидрохинона: 1–0,22 мМ; 2–0,11 мМ;
 3–0,05 мМ; 4–0,025 мМ

В таблице 1 приведены значения начальных скоростей реакции пероксидазного окисления гидрохинона перекисью водорода при различных концентрациях субстратов.

Таблица 1. Значения начальных скоростей реакции пероксидазного окисления гидрохинона перекисью водорода в мкМоль/сек.

Условия: [E] = 30 нг/мл; pH 5,4; t = 25 °C

$C_{H_2O_2}$, мМ \ $C_{гидрохинон}$, мМ	0,10	0,20	0,5	1,0
0,17	2,86	1,76	4,14	5,14
0,42	2,71	2,36	8,57	10,0
0,85	2,5	2,28	8,0	15,6
2,5	2,71	2,0	7,57	16,9
5,0	1,86	1,14	9,14	36,0

Порядок ферментативной реакции был рассчитан графически из зависимости $lg v_0$ от $lg [H_2O_2]$ и $lg v_0$ от $lg [C_6H_4O_2]$ (рис. 3 и 4).

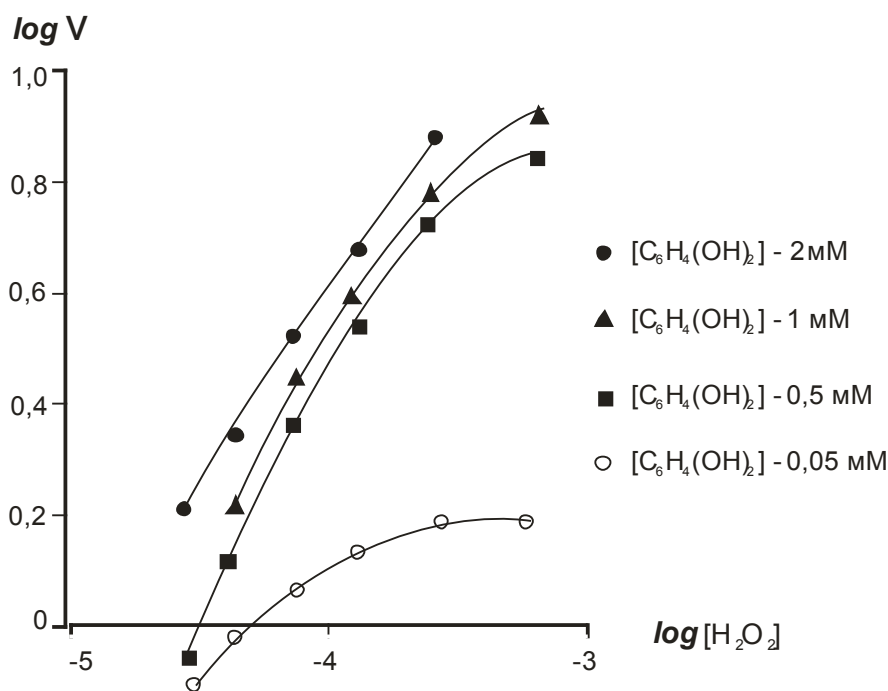


Рис. 3. Зависимость $\log v$ от $\log [H_2O_2]$ при различных концентрациях гидрохинона

Установлено, что ферментативная реакция имеет первый порядок по перекиси водорода в диапазоне концентраций перекиси водорода 0,06–0,46 мМоль и несколько более — 1 при 1,0–3,0 мМоль. Это объясняется ингибированием ферментативной реакции высокими концентрациями перекиси водорода. Порядок ферментативной реакции по гидрохинону также близок к первому практически во всем диапазоне концентраций гидрохинона (0,2–1,5 мМоль).

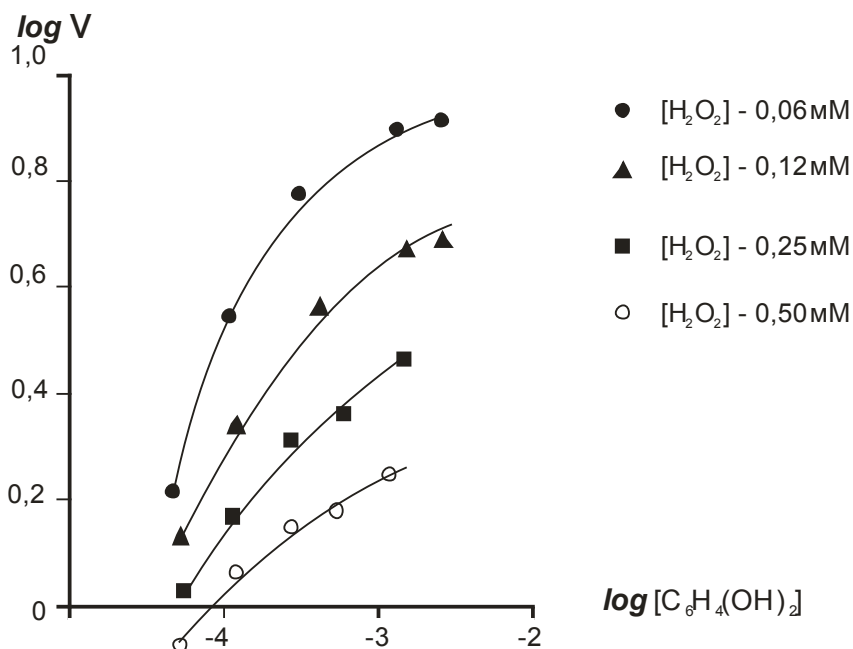


Рис. 4. Зависимость $\log v$ от $\log [C_6H_4(OH)_2]$ при различных концентрациях перекиси водорода

Для определения основных кинетических параметров K_M , V и $k_{каталитич.}$ Получена графическая зависимость начальной скорости от концентрации каждого из субстратов в координатах Лайнуивера-Берка.

На рисунке 5 приведена зависимость $\frac{1}{v_0} = f \frac{1}{[H_2O_2]}$ при различных концентрациях гидрохинона. Из графической зависимости следует, что в интервале концентрации перекиси водорода от 0,02 мМоль до 2,8 мМоль наблюдается ли-

нейная зависимость начальной скорости реакции от концентрации субстрата. Загиб кривой $\frac{1}{v_0} = f \frac{1}{[H_2O_2]}$ в интервале более 2,5–3,0 мМоль перекиси водорода свидетельствует об ингибировании реакции высокими концентрациями перекиси водорода.

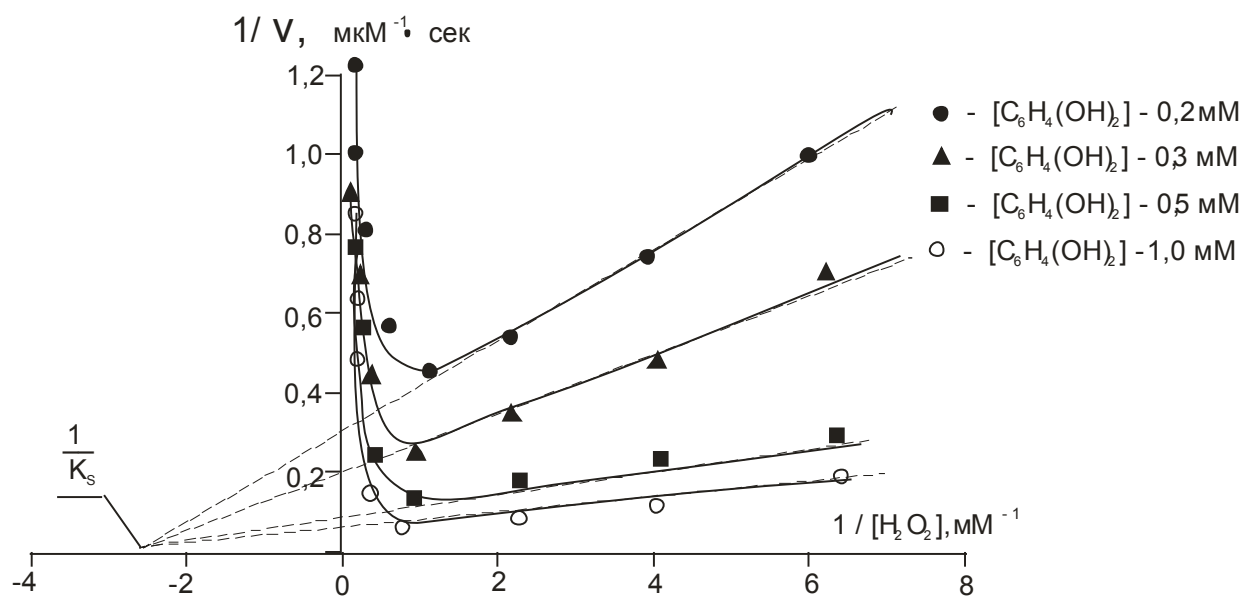


Рис. 5. Зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации перекиси водорода в координатах Лайнуивера-Берка при различных концентрациях гидрохинона.

Увеличение начальной скорости реакции пропорционально росту концентрации гидрохинона. Точка пересечения кривых на рис. 5 лежит на оси абсцисс, что говорит о неконкурентном типе ингибирования [16, 19].

Расчетное значение константы ингибирования, найденное из графика на рисунке 5, составляет 0,45 мМоль, что позволяет оценить концентрацию субстрата (перекиси водорода), достаточную для достижения максимальной скорости ферментативной реакции.

На графике Лайнуивера-Берка для гидрохинона (рис. 6), соответствующего концентрации перекиси водорода 0,028–0,22 мМоль отношение $\frac{K_M}{V}$ практически постоянно, что также предполагает неконкурентный механизм ингибирования большими концентрациями перекиси водорода.

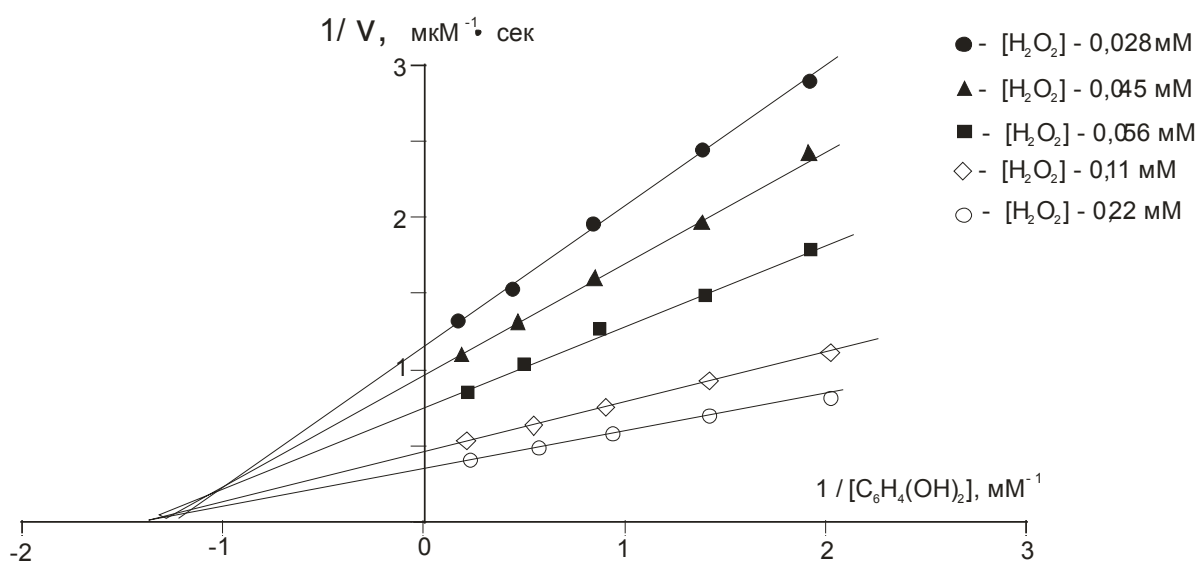


Рис. 6. Зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации гидрохинона в координатах Лайнуивера-Берка при различных концентрациях перекиси водорода

Анализ первичных графиков (рис. 6) в координатах $\frac{1}{v_0} = f \left[\frac{1}{[C_6H_4(OH)_2]} \right]$ указывает на отсутствие ингибирования реакции гидрохиноном.

Влияние pH на кинетические параметры ферментативной реакции

С целью определения оптимума pH для реакции пероксидазного окисления гидрохинона перекисью водорода нами изучена кинетика реакции в диапазоне pH 3,6–8,2 при постоянной концентрации гидрохинона 0,5 мМ и переменной концентрации перекиси водорода (0,028–0,224 мМ).

Полученные результаты представлены на рисунках 7 и 8. В диапазоне pH 3,6–7,4 зависимость скоростей ферментативной реакции от концентрации перекиси водорода имеет первый порядок. При повышении pH скорость ферментативной реакции возрастает и процесс каталитического окисления гидрохинона практически не зависит от pH вплоть до значений pH 8,0.

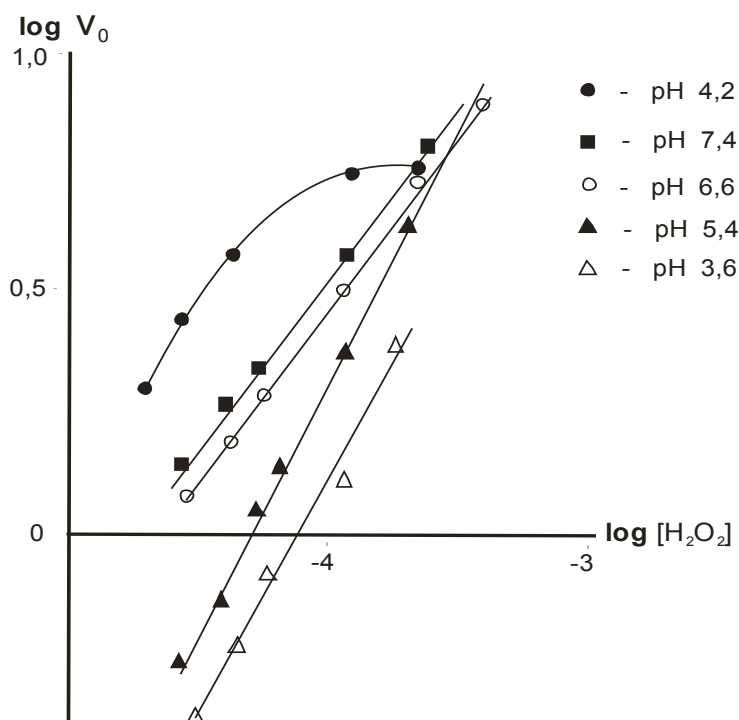


Рис. 7. Зависимость начальной скорости ферментативной реакции от концентрации перекиси водорода при различных значениях pH в логарифмических координатах

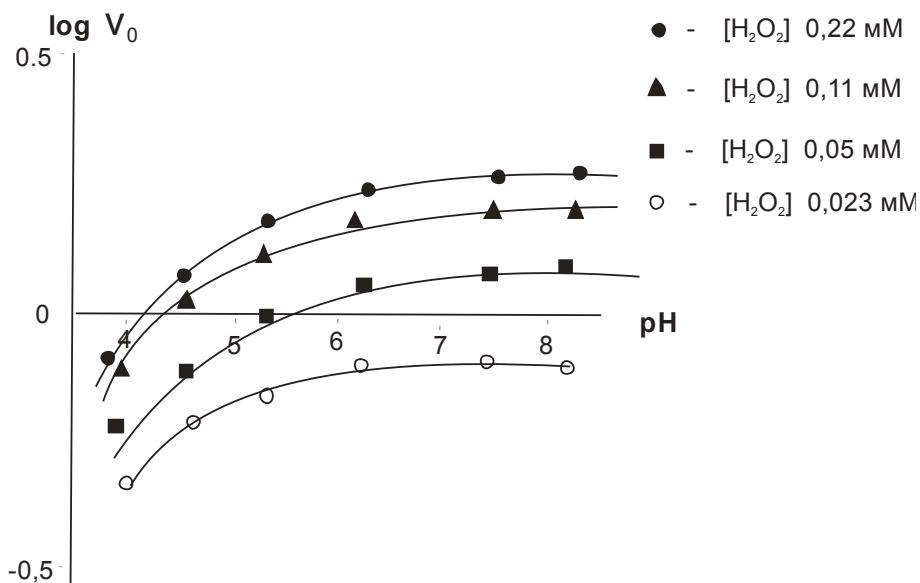


Рис. 8. Полулогарифмическая зависимость начальной скорости ферментативной реакции от pH при различных концентрациях H_2O_2

Максимальная скорость ферментативной реакции наблюдается в диапазоне рН 5,8–8,5.

На рис. 9 представлена зависимость кинетических параметров ферментативной реакции от рН, а в таблице 3 — количественные значения этих параметров.

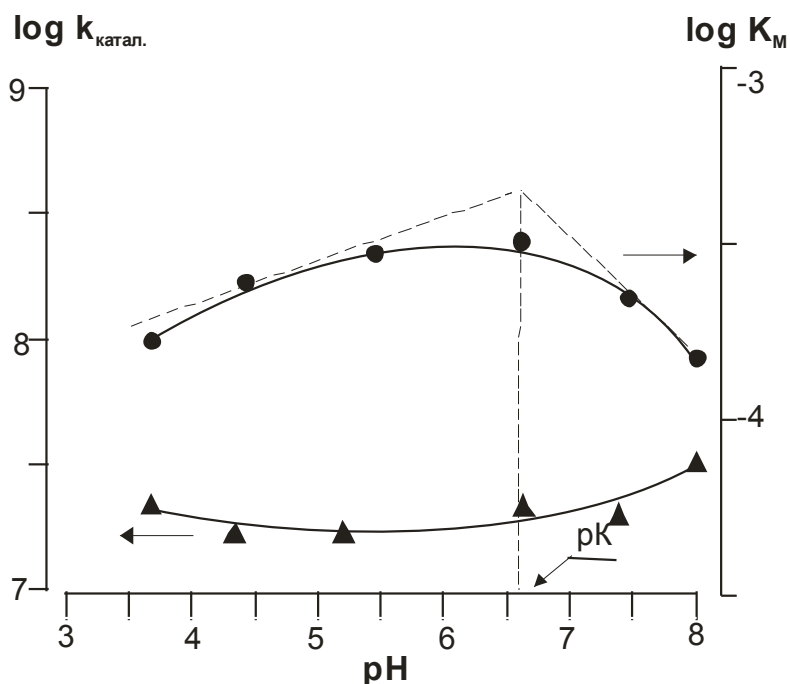


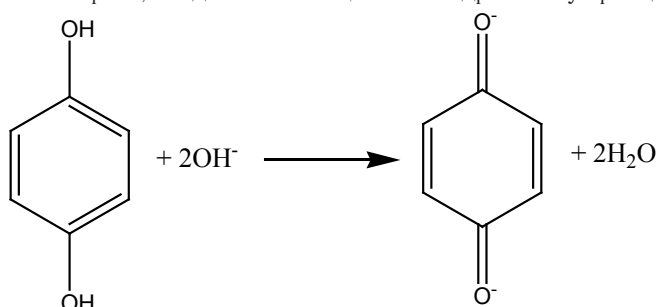
Рис. 9. Зависимость кинетических параметров ферментативной реакции от рН

Таблица 3. Значения величин кинетических параметров ферментативной реакции при разных рН

рН	3,6	4,2	5,4	6,6	7,4	8,0
$V_M \cdot 10^6$	16,7	12,5	13,3	20,0	15,4	31,2
$K_M \cdot 10^4$	10,0	1,8	2,0	2,5	1,4	0,6
$k_{кат} \cdot 10^6$	22,2	16,7	17,7	26,6	20,5	41,7
$lg V_M$	-4,78	-4,9	-4,88	-4,7	-4,8	-4,5
$lg K_M$	-4,00	-3,74	-3,70	-3,60	-3,80	-4,20
$lg k_{кат}$	7,35	7,22	7,25	7,43	7,31	7,62

Относительное постоянство значений $K_{кат}$ в диапазоне рН 3,6–7,4 позволяет сделать вывод, что субстрат, связываясь с ферментом, не изменяет значений констант диссоциации ионогенных групп активного центра пероксидазы и, следовательно, ионогенная группа, контролирующая ферментативную реакцию, входит в состав сорбционного, а не каталитического участка активного центра.

Из рН-зависимости константы Михаэлиса K_M следует, что в белковой глобуле фермента имеется ионогенная группа с $pK \sim 6,8$, гидроксирование которой увеличивает $k_{катал}$. То есть, гидроксид-ионы способствуют воздействию гидрохинона на каталитический участок активного центра белковой глобулы. Возможной причиной изменения скорости ферментативной реакции при варьировании рН может быть изменение конформационной подвижности белковой глобулы и, соответственно — увеличение доступности порфиринового кольца молекуле гидрохинона. При этом необходимо учитывать и тот факт, что добавление щелочи к гидрохинону приводит к переводу последнего в активную анионную форму [19]:



способную взаимодействовать с положительным зарядом белковой глобулы фермента, возрастающим с повышением рН.

Критерием оптимальной величины рН для пероксидазного окисления гидрохинона перекисью водорода должна служить разница между скоростями ферментативной и самопроизвольной реакций.

С этой целью нами экспериментально установлено это соотношение.

Результаты эксперимента сведены в таблицу 4.

Таблица 4. Соотношение $v_{\text{спонт.}}/v_{\text{ферм.}}$ при различных рН

рН	$v_{\text{ферм.}}$, мкМ/сек	$v_{\text{спонт.}}/v_{\text{ферм.}}$	Концентрация гидрохинона, мМ	Буфер
3,64	0,8	0,01	0,1–0,5	Ацетатный
4,18	1,14	0,02	0,1–0,5	Ацетатный
5,38	1,67	0,02	0,1–0,5	Ацетатный
6,58	2,02	0,025	0,1–0,5	Фосфатный
7,42	2,18	0,032	0,1–0,5	Фосфатный
8,0	5,28	0,05	0,1–0,5	Фосфатный
8,5	6,12	0,07	0,1–0,5	Фосфатный

Как следует из таблицы 4 наибольшая скорость ферментативного процесса при сравнительно небольшом значении $v_{\text{спонт.}}/v_{\text{ферм.}}$ наблюдается в слабощелочной области, т. е. рН 7,4–8,5, которая достигается введением в субстрат-ферментную смесь фосфатного буфера.

Так как повышение скорости фоновой реакции может быть обусловлено также наличием растворенного кислорода, вступающего в окислительный процесс с гидрохиноном, то целесообразно в раствор вводить антиоксиданты, например, сульфит натрия, в количестве, достаточном для связывания растворенного кислорода.

В результате проведенных исследований состав субстратной смеси для осуществления реакции пероксидазного окисления гидрохинона перекисью водорода в аналитических целях, может быть представлен следующим соотношением компонентов:

Гидрохинон — 10^{-3} – 10^{-2} М

Перекись водорода — 10^{-3} – $5 \cdot 10^{-3}$ М

Сульфит натрия — 0,05–0,1 М

рН — 7,5–8,5

Выводы

1. Спектрофотометрическим методом изучена кинетика окисления гидрохинона перекисью водорода в присутствии пероксидазы хрена в зависимости от концентрации субстратов и рН растворов и показано:

2. Ферментативная реакция имеет первый порядок по перекиси водорода в диапазоне концентраций перекиси водорода 0,06–0,46 мМоль и несколько более — 1 при 1,0–3,0 мМоль. Это объясняется ингибированием ферментативной реакции высокими концентрациями перекиси водорода. Порядок ферментативной реакции по гидрохинону также близок к первому практически во всем диапазоне концентраций гидрохинона (0,2–1,5 мМоль).

3. В диапазоне рН 3,6–7,4 зависимость скоростей ферментативной реакции от концентрации перекиси водорода имеет первый порядок. При повышении рН скорость ферментативной реакции возрастает, и процесс каталитического окисления гидрохинона практически не зависит от рН вплоть до значений рН 8,0.

4. Концентрация перекиси водорода, достаточная для достижения максимальной скорости ферментативной реакции составляет 0,45 мМоль.

5. Концентрация гидрохинона, обеспечивающая оптимальное соотношение скоростей ферментативной и неферментативной реакций лежит в диапазоне 10^{-3} – 10^{-2} М, а рН — 7,5–8,5.

6. Для предотвращения самопроизвольного окисления гидрохинона с целью уменьшения фоновой реакции целесообразно в субстратную смесь добавлять 0,05–0,1 М сульфита натрия.

Литература:

1. Угарова, Н. Н., Лебедева О. В., Савицкий А. П. Пероксидазный катализ и его применение. М.: МГУ, 1981. — 92 с.
2. Угарова, Н. Н. Применение ферментов в химическом анализе // Введение в прикладную энзимологию. Учебное пособие/Под ред. И. В. Березина, К. Мартинека. — М.: Изд-во МГУ, 1982. — с. 306–342.

3. Ивницкий, Д. М. Блинов В. А., Аронбаев Д. М., Назаров А. В. Рамазанова О. А Ицекзон А. М. Биоэлектрохимические датчики в клинико-экспериментальных исследованиях // Тез. докл. XII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. — М.: Наука, 1981. т. 1. с. 270–273
4. А. с. № 1205913 СССР. Способ проведения иммуно-ферментного анализа/Ивницкий Д. М., Юлаев М. Ф., Аронбаев Д. М., Кашкин А. П., Егоров А. М., Дзантиев Б. Б., Варфоломеев С. Д. Оpubл. Б. И. 1986, № 3.
5. Аронбаев, Д. М., Васина С. М. Кинетика и механизм пероксидазного окисления иодид-ионов перекисью водорода // Всероссийский журнал научных публикаций. — 2015. — № 1 (25). — с. 6–10.
6. Аронбаев, Д. М., Васина С. М. Исследование влияние рН и ионной силы раствора на кинетику пероксидазного окисления иодид-ионов // Евразийский Союз Ученых. — 2014 № 9, часть 3 — с. 113–118.
7. Рогожин, В. В., Верхотуров В. В. Стационарная кинетика совместного окисления аскорбиновой кислоты и ферроцианида калия перекисью водорода в присутствии пероксидазы хрена// Биоорган. химия. — 1999. — Т. 25. — № 1. — с. 70–73.
8. Рогожин, В. В., Верхотуров В. В. Механизм совместного окисления аскорбиновой кислоты и гидрохинона в присутствии пероксидазы хрена // Биоорган, химия. — 1999. — Т. 25. — № 5. — с. 377–382.
9. Лебедева, О. В., Угарова И. И. Стационарная кинетика реакции окисления NADH пероксидом водорода в присутствии пероксидазы хрена // Биохимия. — 1997. — Т. 62. — № 2. — с. 249–253.
10. Аронбаев, Д. М. Криворучко В. И., Варфоломеев С. Д., Симонова М. В. Применение фотоматериалов в качестве «сухого реагента» для определения пероксидазной активности биопрепаратов // Медицинская техника. — 1990. — № 1. — С 39–40.
11. А. С. № № 1439506 СССР. Способ определения оксидоре дуктазной активности ферментов и иммуноферментных конъюгатов/Аронбаев Д. М., Криворучко В. И., Симонова М. В., Аронбаева Н. И., Варфоломеев С. Д./Оpubл. Б. И. № 43, 1988.
12. Картужанский, А. Л., Красный-Адмони Л. В. Химия и физика фотографических процессов. — — Л.: Химия, 1983. — с. 40.
13. Журба, Ю. И., Шпольский М. Р. Фотографические процессы и материалы. — М.: Высшая школа, 1983. — с. 119.
14. Кольгоф, И. М., Сендел Е. Б. Количественный анализ. 3-е изд. — М.: Госхимиздат, 1948 — 822 с.
15. Справочник химика. Т. 4. — М-Л.: Химия, 1965. — 805 с.
16. Березин, И. В., Мартинек К. Основы физической химии ферментативного катализа. Учебное пособие для студентов хим. и биол. фак. ун-тов. — М.: Высшая школа. — 280 с.
17. Диксон, М., Уэбб Э. Ферменты. Т. 1. — М.: Мир, 1982. — 390 с.
18. Шамб, У., Сеттерфильд Ч, Вентвортс Р. Перекись водорода. — М.: Издатинлит, 1958. — 578 с.
19. Job, D., Dunford H. V. Substituent effect on the oxidation of the phenols and aromatic amines by horseradish peroxidase compound I // Eur. J. Biochem. — 1976. — v. 66.#3. — P. 607.

Химические свойства производного азофенолов

Джураева Шохиста Дилмурадовна, преподаватель;

Исмаилова Халават Джаббаровна, доцент

Каршинский инженерно-экономический институт (Узбекистан)

Синтезированы 5 разные производных азофенолов на основе реакции диазотирования и изучены химические свойства их галогенирования, алкилирования, а также реакции между изоцианатами.

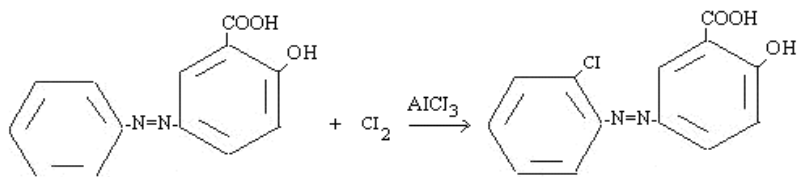
В древние времена люди заботились о том, чтобы окрасить одежду и предметы домашнего обихода в красивые цвета. При религиозно-культурных обрядах, напротив, использовали отпалкивающие расцветки. Во все времена окраска имела символическое значение, как это и сейчас выражается в цветах гербов и национальных флагов. 50-х годах 19 столетия органическая химия начало своё триумфальное шествие, одной из важнейших проблем, стоявших перед нею, являлось получение природных красителей синтетическим путем. [1]

Синтезированы 5 разных производных азофенолов на основе реакции диазотирования и изучены химические свойства их галогенирования, алкилирования, а также реакции между пропаргиловых эфиров и изоцианатов.

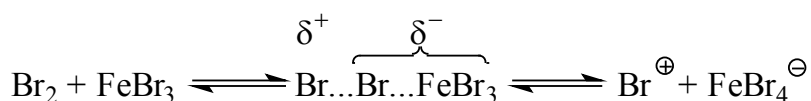
Из истории науки известно, что первые попытки связать химическое строение красителей и их светопрочность были сделаны, по-видимому, Гербардом. Он нашел атомы хлора, брома, сульфогруппы и карбоксильная группы замедляют выцветание; последняя особенно сильно. Имеет значение также и положение заместителя.

Наличие в молекуле красителя первичных аминогрупп обуславливает низкую светопрочность, а ацилирование (в особенности хлорированными красителями) повышает светопрочность [2].

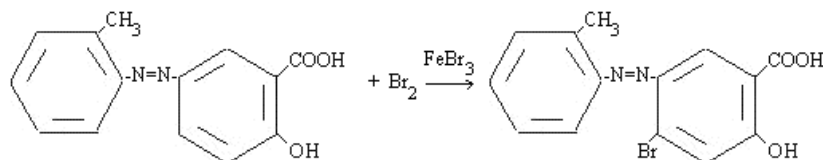
В отличие от этого при галогенировании атака ароматического субстрата может осуществляться различными электрофилами. Свободные галогены Cl_2 и Br_2 могут легко атаковать активированное ароматическое ядро. Для поляризации атакующей молекулы галогена необходимы катализаторы типа кислот Льюиса, такие как AlCl_3 , с помощью которых в молекуле галогена появляется так называемый «электрофильный конец»: энергия, требующаяся для образования катиона Cl^+ , очень велика [3]. Электронодонорные заместители в ароматическом кольце ($-\text{N}=\text{N}-$) ускоряют процесс и направляют галоген в орто- и пара-положение:



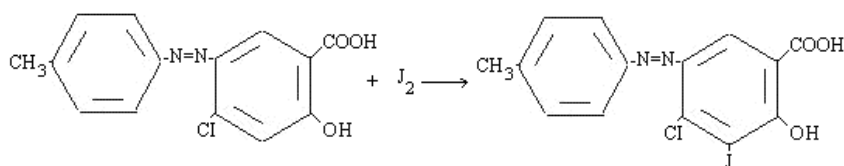
Азосоединения, вероятно, образует π -комплекс, например, с Br_2 , с которым затем взаимодействует кислота Льюиса. При бромировании в случае использования FeBr_3 и других мало активных кислот Льюиса, образование катиона галогена идет в незначительной степени, а основной атакующей частицей является поляризованный комплекс, например:



Катализатор, вероятно, поляризует связь $\text{Br}-\text{Br}$, способствуя образованию π -связи между теперь уже электрофильным концом молекулы брома и атомом углерода кольца:

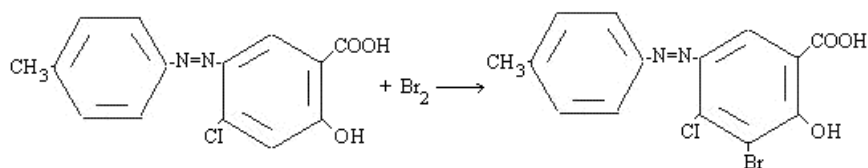


Изучены химические превращения производных азофенола: реакция йодирования протекает по механизму S_{E} .



В гетеролитических реакциях замещения нуклеофильная частица часто предоставляет свою электронную пару для образования новой связи не сразу, а поэтапно, то есть, реализуется механизм замещения с переносом электрона и образованием промежуточной анион-радикальных частиц.

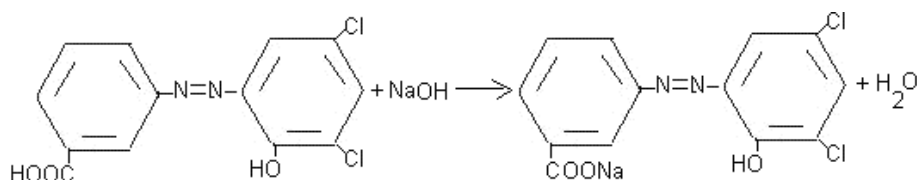
Гомолитический путь замещения у насыщенного атома углерода осуществляется в основе по цепному радикальному механизму и характеризуется стадиями иницирования, роста и обрыва цепи [4]. К важнейшим реакциям этого типа относятся гомолитическое бромирование.



Нуклеофильные реакции замещения в зависимости от кинетических закономерностей разделяются на би- и мономолекулярные. Биомолекулярное замещение $\text{S}_{\text{N}}2$ осуществляется через переходное состояние, в котором происходит одновременное образование новой и разрыв старой связи.

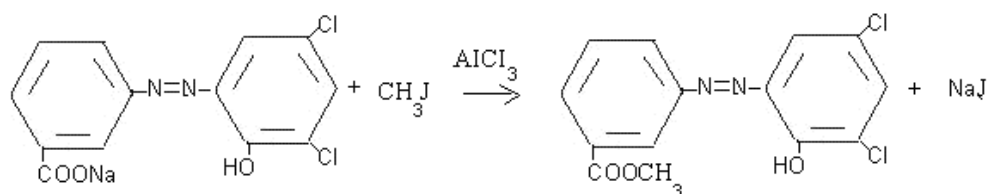
Нам известно, что изоцианаты являются высоко реакционноспособными соединениями. Они легко реагируют с соединениями, содержащими подвижные атомы водорода, например аминами и спиртами. Этот процесс широко используют в лакокрасочных составах для отверждения гидроксилсодержащих пленкообразователей. Взаимодействие изоцианатов с OH-группами пленкообразователей протекает с достаточной скоростью уже при комнатной температуре. Этот процесс можно ускорить за счет введения катализаторов или повышения температуры. Скорость реакции зависит также от вида применяемого изоцианата [5].

Наука утверждает, что гидроксиазоарены являются OH-кислотами. При ионизации их углубляется окраска, особенно в случаях о- и п- изомеров, где имеется прямое сопряжение с азогруппой [6]. Углубление окраски объясняется увеличением электронодонорных свойств заместителя при переходе от $-OH$ к $-O^-$



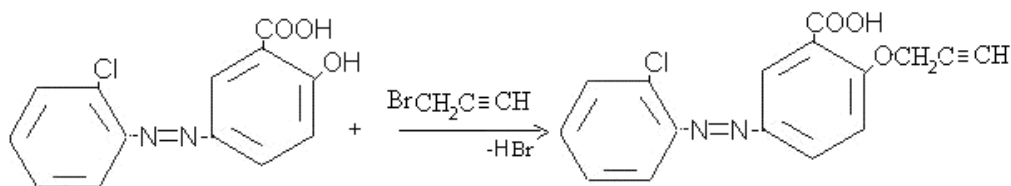
При действии разбавленной щелочии на водные растворы красителя выделяются свободное основания, которое хорошо растворяется в некоторых растворителях (бензиловый спирт, феноксиэтанол) и используется в производстве чернильных паст.

А также изучены натриевая соль красителя при действии галогеналкана, синтезе ароматического сложного эфира. Реакция протекает по типу электрофильного замещения.



Обратимость реакции алкилирования по Фриделю-Крафтсу приводит к тому, что в системе одновременно идут все возможные реакции алкилирования и деалкилирования, причем затрагивается и мета-положение, так как алкильная группа активует все положения бензольного кольца, хотя и в разной степени.

Нами для получения соединения с биологически активными и красящими свойствами синтезированы пропаргильные эфиры замещенных азо-гидроксибензолов. Эфиры получены взаимодействием замещенных азо-гидроксибензолов с хлористым или бромистым пропаргиллом в присутствии поташа в среде ацетона при кипячении в течение 5–6 часов, по следующей схеме:



Полученные пропаргильные эфиры представляет собой желтого цвета, со своеобразным специфическим запахом, хорошо растворимы в эфире, ацетоне, бензоле, этаноле, плохо растворимы в воде. Чистоту пропаргильных эфиров контролировали ТСХ на незакрепленном слое Al₂O₃ Степени активности в системе бензол: бензол: этанол (10:1), бензол: гексан (10:1).

Полученные эфиры, благодаря наличию в их молекуле фрагментов азо-гидроксибензола и пропаргильной группы, проявляют антимикробные, противовоспалительные и красящие свойства.

Литература:

1. Бурятский Государственный Университет Курсовая работа по органической химии «Получение синтетических красителей реакцией азосочетания на примере синтеза 3-окси-4-карбоксихазобензола» стр. Улан-Уде, 2003г
2. Чекалин, М. А., Пасет Б. В., Иоффе Б. А., Технология органических красителей и промежуточных продуктов, 2изд., Л., 1980.
3. Merkle, K., Schiifer H., Pigment handbook, ed. By T. Patton, v. 3, 1973, p. 157–67.

4. Басодо, Ф., Пирсон Р. Механизмы неорганических реакций, пер. с англ. М., 1971., с. 28–32.
5. Б. Мюллер, У. Пот. Журнал «Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур». № 10, стр. 20–25, 2006г
6. Нейланд. «Органическая химия» стр. 434, Л., 1969г

Местное сырьё — основа для получения депрессорных присадок для дизельных топлив

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук, доцент;

Пулатова Бернора Фарходжон кизи, студент

Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Решение важнейших задач дальнейшего углублённого экономического развития Узбекистана, невозможно без основательного топливно-энергетического комплекса, в основе которого лежит улучшение физико-химических свойств уже получаемых и разрабатываемых новых видов дизельного топлива для их использования в местных резко меняющихся климатических условиях. Чтобы получить такой вид топлива, необходимо изменение его низкотемпературных свойств, которые влияют не только на эксплуатационные, но и на экологические свойства высококачественных дизельных топлив. Одним из способов изменения низкотемпературных свойств топлива является добавка в него так называемых депрессорных присадок. Целью данной работы является разработки технологии получения и применение качественно новых, импортно-замещённых депрессорных присадок, синтезированных на основе использования местного сырья, что повышает их экономичность [1,2].

Основным отходом производства полиэтилена является смесь этиленсодержащих газов, парафиновых углеводородов, циклогексан содержащего низкомолекулярный полиэтилен и масляного продукта — масляный сток щелочной колонны, так называемая желтое масло.

Применение депрессорных присадок является одним из наиболее эффективных способов улучшения низкотемпературных свойств дизельных топлив. Полимеры и сополимеры достаточно эффективно применяют в качестве депрессорных присадок к дизельным топливам. Введение депрессорных присадок в малых количествах приводит к существенному снижению температуры застывания дизельного топлива и снижению его вязкости при низких температурах.

Разработка депрессорных присадок, базирующихся на дешевом и доступном сырье, характеризующихся хорошими вязкостно-температурными свойствами, является актуальной задачей.

В связи с этим актуальной остаётся разработка эффективных присадок, которые помимо качественных показателей позволяют увеличить экономическую эффективность получаемых нефтепродуктов.

Нами получены присадки на основе отхода полиэтилена с полиметакрилатных гетероциклических соединений таких как: бензоксазолон (БОО), бензоксазолтион (БОТ), бензтиазолон (БТО), бензтиазолтион (БТТ). Гетероциклические эфиры метакриловых кислот (ГЭМАК) получили путем взаимодействием щелочно-металлической солью метакриловых кислот с галогенметилпроизводными азот-, кислород-, галоген- и серосодержащими гетероциклическими соединениями в среде бензола при температуре 60–80°C.

Полученные полимеры, обладающие депрессорными свойствами, при добавлении к дизельному топливу улучшают их физико-химические и механические свойства и полностью отвечают требованиям стандарта, имеют улучшенные низкотемпературные характеристики, такие как температура застывания и температура помутнения. Также структура дизельных топлив без и с композиционной депрессорной присадкой исследованная под микроскопом, по-видимому (показавшим), она представляет собой сплошную сетку, состоящую из мелких игл с вкрапленными в нее крупными кристаллическими конгломератами размером 0,05–0,10 мк.

Большое влияние на температуру застывания топлив оказывает скорость охлаждения, а именно: с увеличением последней повышается их температура застывания за счет возникновения большого количества центров кристаллизации, равномерно распределенных по всему объему и способствующих созданию более прочной структуры. Производить добавление композиционной депрессорной присадок необходимо при температуре выше температуры помутнения топлива, оптимальной является температура не ниже +10 °С. Соблюдение данного условия позволит добиться наилучших результатов [3–5].

Процесс синтеза полиметакрилатных присадок (ПМКП) состоит из двух основных стадий: этерификации метакриловой кислоты с гидроксиметилпроизводными гетероциклическими соединениями. В качестве гидроксиметил производных используют гидроксиметилбензоксазолон, гидроксиметилбензоксазолтиона, гидроксиметилбензтиазолон, гидроксиметилбензтиазолтиона, метакриловую кислоту, растворитель, серную кислоту (как катализатор), водный раствор аммиака, пероксид бензоила (инициатор),

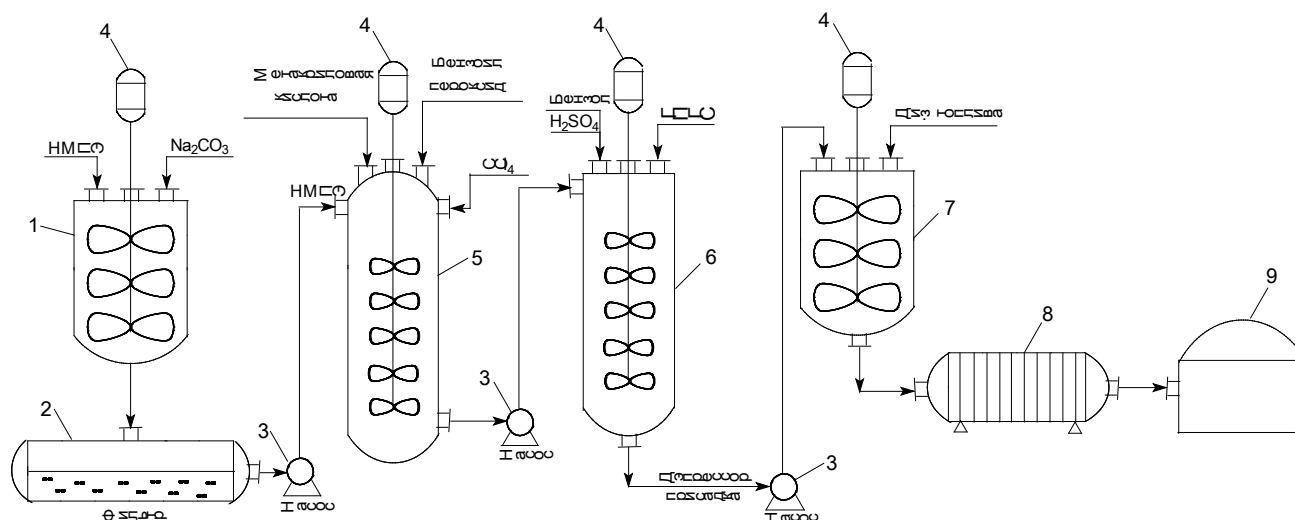


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема получения депрессорно-привитых сополимеров на основе низкомолекулярного полиэтилена. 1-очистительный аппарат, 2-фильтр, 3-насос, 4-мешалка, 5-реактор, 6-этерификатор, 7-смеситель, 8-фильтр сушка, 9-ёмкость.

Примечание: ГПГС — гидроксиметилпроизводные гетероциклических соединений, НМПЭ — низкомолекулярный полиэтилен.

масло-разбавитель. Процесс получения полиметакрилатов осуществляется следующим путём: в аппарат-этерификатор (1) по порциям поступают гидроксиметилпроизводные гетероциклических соединений, метакриловая кислота, растворитель, серная кислота. Процесс этерификации ведется при атмосферном давлении, нагреве и непрерывном перемешивании. Водяные пары, образующиеся в процессе реакции, удаляются из аппарата (1) вместе с парами растворителя и поступают через холодильник (2) в водоотделитель (3). Степень превращения исходного сырья в метакрилат составляет 95–97%. Технологическая схема этого процесса приведена на рисунке 1.

Продукт, содержащий смесь метакрилатов, непрореагировавшие компоненты сырья, катализатор и растворитель, непрерывно подают в нейтрализатор (4) для нейтрализации водным раствором аммиака. Смесь нейтрального продукта и промывных вод самотеком поступает в фильтр-сепаратора (5) для отделения от промывных вод, дополнительной промывки мономера. Очищенный продукт собирается в сушилке (7), а промывные воды поступают в ёмкость (6) для дальнейшей утилизации. Нейтральные метакрилаты служат исходным сырьем для второй основной стадии синтеза — полимеризации.

Реакция полимеризации метакрилатов осуществляется непрерывно в аппарате (5) в присутствии инициатора — перекиси бензоила и растворителя. Образующий полимер попадает в осадитель из реакционной смеси с помощью

изопропанола, затем фильтруется в фильтраторе и подвергается сушке до постоянного веса. Затем полученная депрессорная присадка непрерывно стекает в смеситель (7), куда загружается дизельное топливо в количестве, обеспечивающим получение 60–70%-ных полимер-концентратов в топливе товарных присадок.

Исследовано влияние природы синтезированных депрессорных присадок на температуру застывания дизельного топлива Dts 989:2001. Видно, что ПБОО понижает температуру застывания дизельного топлива на 14°C, ПБОТ на 16°C, ПБТО на 17°C, ПБТТ на 19°C соответственно. Оценка депрессорной активности ГЭМАК показала, что она повышается с увеличением полярных групп в гетероциклическом соединении.

Для исследования депрессорных свойств синтезированных гетероциклических эфиров полиметакриловых кислот (ГЭПМАК) изучены физико-механические свойства дизельного топлива. [5].

Физико-химические и механические свойства дизельных топлив полностью отвечают требованиям стандарта и имеют улучшенные низкотемпературные характеристики, таких как температура застывания и температура помутнения.

Таким образом, полиметакрилатные депрессорные присадки, при введении которых в малых количествах (0,1–1,0%) приводит к существенному снижению температуры застывания и улучшению текучести при низких температурах.

Литература:

1. Тергениян, Р. А. Депрессорные присадки к нефтям, топливам и маслам. — М.: Химия, 1990. — 237 с.
2. Мавланов, Б. А. Особенности полимеризации и сополимеризации бензоксазолтионметилметакрилата и свойства полимеров на его основе. Автореферат дисс...канд. хим. наук. — Ташкент. 1990. — 21 с.

3. Касьянова, А. А., Добрынина Л. Е. Лабораторный практикум по физике и химии молекулярных соединений — М. Лёгкая индустрия 1979. -с. 64—65.
4. Фозилов, С. Ф. Получение депрессорных присадок на основе низкомолекулярного полиэтилена и изучение механизма их действия на дизельные топлива, Журнал химии Республики Узбекистан. 2013. № 6. 36—39 б.
5. Фозилов, С. Ф., Мавланов Б. А., Хамидов Б. Н., академик Аскарлов М. А. Получение депрессорных присадок к дизельным топливам, синтезом гетероциклических эфиров полиметакриловых кислот и их применение. Доклады Академии наук Республики Узбекистан. 2014. № 16, 63—66. б.
6. Fozilov, S. F., Bobokhon A. Mavlonov. Ataullov SH. Adizova N. Sharipova N. Development of Technology for Depressor Additives for Diesel Production from Polymer Wastes. Young Scientist USA 35—45.

ИНФОРМАТИКА

GRU и LSTM: современные рекуррентные нейронные сети

Будыльский Дмитрий Викторович, аспирант
Брянский государственный технический университет

Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network, RNN) — класс моделей машинного обучения, основанный на использовании предыдущих состояний сети для вычисления текущего [5; 10]. Такие сети удобно применять в тех случаях, когда входные данные задачи представляют собой нефиксированную последовательность значений, как, например, текстовые данные, где текстовый фрагмент представлен нефиксированным количеством предложений, фраз и слов. Каждый символ в тексте, отдельные слова, знаки препинания и даже целые фразы — все это может являться атомарным элементом входной последовательности.

На каждом шаге обучения t значение $h^{(t)} \in \mathbb{R}^m$ скрытого слоя рекуррентной нейронной сети вычисляется следующим образом:

$$h^{(t)} = f(Wx^{(t)} + Uh^{(t-1)} + b^h),$$

где $x^{(t)} \in \mathbb{R}^n$ — входной вектор в момент времени t (например, векторное представление текущего слова в текстовом фрагменте); $W \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $U \in \mathbb{R}^{m \times m}$, $b^h \in \mathbb{R}^m$ — обучаемые параметры рекуррентной нейронной сети; f — функция нелинейного преобразования. Чаще всего в качестве нелинейного преобразования применяют одну из следующих функций: сигмоидальная функция (1), гиперболический тангенс (2), функция-выпрямитель (3):

$$f(x) = \sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}; \tag{1}$$

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}; \tag{2}$$

$$f(x) = \max(0, x). \tag{3}$$

В простой рекуррентной нейронной сети (см. рис. 1) выходное значение $y^{(t)} \in \mathbb{R}^l$ на текущем шаге t вычисляется по формуле:

$$y^{(t)} = W^c h^{(t)} + b^c,$$

где $W^c \in \mathbb{R}^{l \times m}$ и $b^c \in \mathbb{R}^l$ — обучаемые параметры.

В 1997 году Зепп Хохрайтер (Sepp Hochreiter) и Юрген Шмидхубер (Jürgen Schmidhuber) представили новый подход, получивший название LSTM (Long Short-Term Memory — долгая краткосрочная память) [8]. Рекуррентные нейронные сети, основанные на этом подходе, имеет более продвинутый (и более сложный) способ вычисления $h^{(t)}$. Данный способ, помимо входных значений и предыдущего состояния сети, использует также фильтры (gates), определяющие, каким образом информация будет использоваться для вычисления как выходных значений на текущем слое $y^{(t)}$, так и значений скрытого слоя на следующем шаге $h^{(t+1)}$. Весь процесс вычисления $h^{(t)}$ для простоты упоминается как LSTM-слой (LSTM layer, LSTM unit).

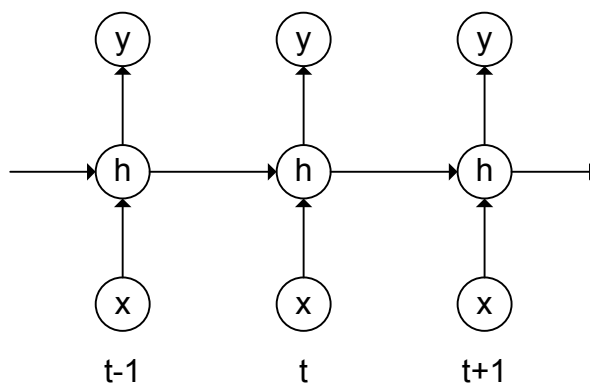


Рис. 1. Простая рекуррентная нейронная сеть

Рассмотрим подробнее структуру LSTM-слоя. Центральным понятием здесь является запоминающий блок (memory cell), который, наряду с состоянием сети h , вычисляется на каждом шаге, используя текущее входное значение $x^{(t)}$ и значение блока на предыдущем шаге $c^{(t-1)}$. Входной фильтр (input gate) $i^{(t)}$ определяет, насколько значение блока памяти на текущем шаге должно влиять на результат. Значения фильтра варьируются от 0 (полностью игнорировать входные значения) до 1, что обеспечивается областью значений сигмоидальной функции:

$$i^{(t)} = \sigma(W^i x^{(t)} + U^i h^{(t-1)}). \tag{4}$$

«Фильтр забывания» (forget gate) позволяет исключить при вычислениях значения памяти предыдущего шага:

$$f^{(t)} = \sigma(W^f x^{(t)} + U^f h^{(t-1)}). \tag{5}$$

На основе всех данных, поступающих в момент времени t (а именно, $x^{(t)}$, $h^{(t-1)}$ и $c^{(t-1)}$), вычисляется состояние блока памяти $c^{(t)}$ на текущем шаге, используя фильтры (4) и (5):

$$\begin{aligned} \tilde{c}^{(t)} &= \tanh(W^c x^{(t)} + U^c h^{(t-1)}); \\ c^{(t)} &= f^{(t)} \circ c^{(t-1)} + i^{(t)} \circ \tilde{c}^{(t)}. \end{aligned} \tag{6}$$

Выходной фильтр (output gate) аналогичен двум предыдущим и имеет вид:

$$o^{(t)} = \sigma(W^o x^{(t)} + U^o h^{(t-1)}). \tag{7}$$

Итоговое значение LSTM-слоя определяется выходным фильтром (7) и нелинейной трансформацией над состоянием блока памяти (6):

$$h^{(t)} = o^{(t)} \circ \tanh(c^{(t)}).$$

В 2014 году в работе [15] была представлена модель GRU (Gated Recurrent Unit), основанная на тех же принципах, что и LSTM, но использует меньше фильтров и операций для вычисления $h^{(t)}$ [6]. Фильтр обновления

(update gate) $z^{(t)}$ и фильтр сброса состояния (reset gate) $r^{(t)}$ вычисляются по следующим формулам:

$$z^{(t)} = \sigma(W^z x^{(t)} + U^z h^{(t-1)}); \tag{8}$$

$$r^{(t)} = \sigma(W^r x^{(t)} + U^r h^{(t-1)}). \tag{9}$$

Выходное значение $h^{(t)}$ вычисляется на основе промежуточного значения $\tilde{h}^{(t)}$, которое, при помощи фильтра сброса состояния (9), определяет, какие значения предыдущего шага $h^{(t-1)}$ следует исключить (здесь можно видеть прямую аналогию с фильтром забывания из LSTM):

$$\tilde{h}^{(t)} = \tanh(W^h x^{(t)} + r^{(t)} \circ U^h h^{(t-1)}). \tag{10}$$

Используя фильтр обновления (8) и промежуточное значение (10), имеем:

$$h^{(t)} = z^{(t)} \circ h^{(t-1)} + (1 - z^{(t)}) \circ \tilde{h}^{(t)}.$$

Сходства и различия между LSTM- и GRU-слоями можно изобразить схематически (см. рис. 2)

Несмотря на то, что в целом развитие вычислительных моделей идет от простых к более сложным, более простая модель GRU появилась на 17 лет позже модели LSTM. Сама формулировка Gated Recurrent Unit является более обобщающей и подразумевает включение в себя LSTM как частного случая. Однако, это не более чем занимательный исторический факт. Семейство рекуррентных нейронных сетей, использующих фильтры (gates), благодаря LSTM, за свою историю получило активное развитие в следующих областях [12]:

- распознавание рукописного текста [1; 3; 4];
- моделирование языка [7];
- машинный перевод [2; 15];
- обработка аудио [13], видео [11] и изображений [14];
- анализ тональности и классификация текстов [16];
- целый ряд других областей, использующих алгоритмы машинного обучения.

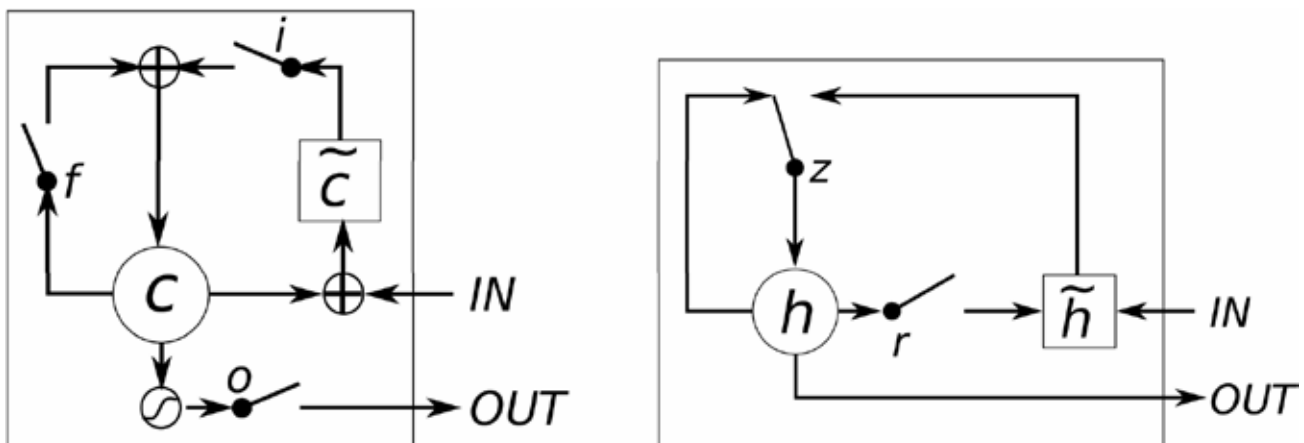


Рис. 2. Схематическое представление LSTM (слева) и GRU (источник: [6])

Стоит отметить, что такое активное внимание к рассмотренному семейству моделей в настоящее время обусловлено, в частности, высокими показателями их эффективности во многих задачах. Как и другие рекуррентные нейронные сети, LSTM и GRU (особенно двух- и многослойные) характеризуются достаточно сложной процедурой обучения. Значительно ускорить процессы обучения глубоких нейросетей позволяют графические процессоры

(Graphics Processing Unit, GPU), что наглядно демонстрируется активной реализацией (и оптимизацией) описанных рекуррентных моделей под GPU-вычисления [9]

В заключение можно констатировать, что рекуррентные нейросетевые модели, активно представленные в последнее время в виде LSTM и GRU, являются эффективными и перспективными алгоритмами машинного обучения для широкого спектра прикладных задач.

Литература:

1. A novel connectionist system for unconstrained handwriting recognition/A. Graves [et al.]// Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. — 2009. — Vol. 31, no. 5. — Pp. 855–868.
2. Addressing the Rare Word Problem in Neural Machine Translation/T. Luong [et al.] // arXiv preprint arXiv:1410.8206. — 2014.
3. Doetsch, P., Kozielski M., Ney H. Fast and robust training of recurrent neural networks for offline handwriting recognition // Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR), 2014 14th International Conference on. — IEEE. 2014. — Pp. 279–284.
4. Dropout improves recurrent neural networks for handwriting recognition/V. Pham [et al.]// Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR), 2014 14th International Conference on. — IEEE. 2014. — Pp. 285–290.
5. Elman, J.L. Finding structure in time // Cognitive science. — 1990. — Vol. 14, no. 2. — Pp. 179–211.
6. Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling/J. Chung [et al.]// arXiv preprint arXiv:1412.3555. — 2014.
7. Gated feedback recurrent neural networks/J. Chung [et al.]// arXiv preprint arXiv:1502.02367. — 2015.
8. Hochreiter, S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural computation. — 1997. — Vol. 9, no. 8. — Pp. 1735–1780.
9. Hwang, K., Sung W. Single stream parallelization of generalized LSTM-like RNNs on a GPU // arXiv preprint arXiv:1503.02852. — 2015.
10. Jordan, M.I. Serial order: A parallel distributed processing approach // Advances in psychology. — 1997. — Vol. 121. — Pp. 471–495.
11. Long-term recurrent convolutional networks for visual recognition and description/J. Donahue [et al.]// arXiv preprint arXiv:1411.4389. — 2014.
12. LSTM: A Search Space Odyssey/K. Greff [et al.]// arXiv preprint arXiv:1503.04069. — 2015.
13. Multi-resolution linear prediction based features for audio onset detection with bidirectional LSTM neural networks/E. Marchi [et al.] // Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2014 IEEE International Conference on. — IEEE. 2014. — Pp. 2164–2168.
14. Novel approaches for face recognition: template-matching using dynamic time warping and LSTM Neural Network Supervised Classification/A.L. Levada [et al.]// Systems, Signals and Image Processing, 2008. IWSSIP 2008. 15th International Conference on. — IEEE. 2008. — Pp. 241–244.
15. On the properties of neural machine translation: Encoder-decoder approaches/K. Cho [et al.]// arXiv preprint arXiv:1409.1259. — 2014.
16. Tai, K.S., Socher R., Manning C.D. Improved semantic representations from tree-structured long short-term memory networks // arXiv preprint arXiv:1503.00075. — 2015.

Когда прекращать тестирование программ? Критерии работоспособности программ. Эвристики тестирования

Дошина Анна Дмитриевна, студент;
Карлова Виктория Васильевна, студент;
Михайлова Александра Евгеньевна, студент

Южно-Российский государственный политехнический университет имени М. И. Платова (Новочеркасский Политехнический Институт)

Данная статья раскрывает понятие тестирования программного обеспечения, объясняет, для чего нужно тестирование, а также описывает наиболее интересные и эффективные способы тестирования программного обеспечения.

Одним из этапов создания программного обеспечения является его тестирование. Наверняка каждый разработчик в начале своего пути пытался выяснить, когда же процесс тестирования и отладки может быть завершен? В какой момент можно анализировать результаты и передавать проект в эксплуатацию?

Большинство разработчиков понимает, что программ без ошибок не бывает, но на определенном этапе тестирования возникает вопрос: «Стоит ли дальше искать ошибки, или можно оставить некоторые из них до следующего этапа разработки?».

На сегодняшний день не существует такого метода тестирования, который бы позволил полностью обнаружить все дефекты и установить корректность функционирования исследуемого программного обеспечения.

Как говорил Эдгар Дейкстра (1970): «Тестирование программ может использоваться для демонстрации наличия ошибок, но оно никогда не покажет их отсутствие».

Ошибки бывают разные, и на поиск каждой ошибки уходит разное время. Зачастую, на полное тестирование программы просто не хватает времени, поэтому во всех режимах и со всеми параметрами оно трудно реализуемо.

Тестирование программного обеспечения — это процесс исследования, испытания программного продукта, для демонстрации разработчикам и заказчикам, что программа соответствует требованиям и (или) для выявления ситуации, в которых поведение программы является неправильным, нежелательным или не соответствующим спецификации.

За всю историю своего развития, процедура тестирования претерпела множество изменений, начиная от строго формализованного тестирования, которое использовалось для тестирования программ для нужд министерства обороны. В 1960-х внимание в основном уделялось полному тестированию, предполагающему полный проход всех алгоритмов с различными входными данными. Позднее такое тестирование было признано невозможным. В 1970-х понятие тестирования определялось двойственно. С одной стороны, тестирование считалось успешным, когда программа демонстрировала корректную работу, но, с другой стороны, успешным считалось то тестирование, в результате которого были найдены некоторые ошибки в работе

программы. В 1980-е годы тестирование вышло на новый уровень. Тестированию подвергался не уже готовый продукт, а продукт в процессе всего цикла разработки. В это время появлялись первые инструменты для автоматизированного тестирования. В 1990-х начали появляться различные программные инструменты для поддержки процесса тестирования. В 2000-х появилось еще более широкая методология тестирования, которая предполагала максимизацию значимости всех этапов жизненного цикла программы.

Существует несколько подходов к тестированию, которые предлагают различные алгоритмы. Но в основном, это процесс творческий, который не всегда придерживается определенных правил.

Конечно, тестирование наиболее полезно на ранних этапах разработки проекта, так как это более экономично. Программа считается готовой к выпуску, когда устранены абсолютно все критические ошибки и ~85% не критических ошибок. Считается, что дальнейшее тестирование экономически не целесообразно.

Так как у программного обеспечения (ПО) отсутствует эталон, к которому необходимо стремиться, чтобы оно считалось полностью протестированным, то следует стремиться к некоторым уровням качества.

К таким уровням относятся:

- отсутствие остановок работы ПО;
- отсутствие синтаксических ошибок;
- выполнение функций ПО, описанных в техническом задании без ошибок;
- соответствие расчетных значений эталонным.

В тот момент, когда программное обеспечение соответствует всем вышесказанным уровням, оно считается протестированным и его можно передавать в эксплуатацию. Далее ПО будет передано на тестирование пользователям, которое будет продолжаться в течение всего времени пользования.

За все время существования программирования определилось несколько признаков, по которым принято производить тестирование программы: по объекту тестирования, по знанию системы, по степени автоматизации, по степени изолированности компонентов, по времени проведения тестирования, по признаку по-

зитивности сценариев, по степени подготовленности к тестированию.

По уровням тестирования можно выделить несколько основных типов:

- модульное тестирование — тестируется минимальный компонент программы (класс, функция);
- интеграционное тестирование — тестируются межкомпонентные элементы;
- системное тестирование — тестирование всей системы на соответствие установленным требованиям;
- альфа-тестирование — штатные разработчики или потенциальные пользователи имитируют реальную работу с системой;
- бета-тестирование — распространение пробной версии программного обеспечения для большей группы лиц, с целью удостовериться в отсутствии ошибок.

Все технологии тестирования можно разделить на две большие группы: статическое и динамическое тестирование. В динамическом тестировании код выполняется, а в статическом — не выполняется. Здесь анализ программы происходит на основе исходного кода.

К наиболее интересным и эффективным техникам можно отнести тестирование белого ящика и тестирование черного ящика. Обе эти техники предполагают, что код выполняется, и разница состоит лишь в том, какой информацией владеет тестируемый.

При тестировании белого ящика, разработчик теста имеет доступ к исходному коду программ и может писать код, который связан с библиотеками тестируемого программного обеспечения.

При тестировании чёрного ящика, тестируемый имеет доступ к программе только через те же интерфейсы, что и заказчик или пользователь, либо через внешние интерфейсы, позволяющие другому компьютеру либо другому процессу подключиться к системе для тестирования.

Так же эффективным во многих случаях может быть регрессионное тестирование. Эта технология тестирования позволяет подтвердить, что изменения, внесенные в программу при выпуске новой версии, не повлияли на работоспособность программы.

В некоторых случаях, тестируемые прибегают к тестовым скриптам. Тестовые скрипты пишутся для проверки компонентов, в которых высока вероятность появления отказов или вовремя не найденная ошибка может быть дорогостоящей.

Помимо технологий тестирования были разработаны несколько эвристик, которые предлагают ситуации для остановки тестирования. Эвристики — это быстрые, недорогие способы решения проблемы или принятия решения. Эвристики подвержены ошибкам, то есть они могут, как сработать, так и не сработать. Таких эвристик на данный момент существует 11 штук. Каждая из них работает в определенном контексте, поэтому предполагается, что они будут использоваться людьми, имеющими

знания и навыки для их разумного использования. Рассмотрим их.

1. Эвристика «Время вышло!». Самая распространенная эвристика. Тестирование заканчивается, как только вышло отведенное на него время.

2. Эвристика «Мертвой лошади». Тестирование заканчивается, когда обнаруживается слишком много ошибок, и дальнейшее тестирование не имеет смысла.

3. Эвристика «Освежающей паузы» предполагает приостановку тестирования, когда стало скучно или пропало вдохновение. Так же пауза может возникнуть из-за появления ошибки большего приоритета.

4. Эвристика «Отсутствие продвижения». Любые тесты приводят к одним и тем же результатам.

5. Эвристика «Больше нет интересных вопросов». Все важные основные вопросы получили свои ответы. Используется обычно в дополнение с другими эвристиками.

6. Эвристика «Пиньяты». Тестирование прекращается в тот момент, когда возникает достаточно явная серьезная проблема.

7. Эвристика «Задание выполнено». Тестирование прекращается тогда, когда получены ответы на поставленные вопросы.

8. Эвристика «Отмена задания». К этой категории относится прекращение тестирования по требованию заказчика.

9. Эвристика «Зашел в тупик». Остановка тестирования происходит по причине того, что имеется блокирующая ошибка, которая не препятствует тестированию области программы. Проблема может исходить от недостатка оборудования или же от недостатка квалификации тестируемых.

10. Эвристика «Привычного завершения». Тестирование завершается в соответствие с протоколом, задающим некоторое количество идей для тестирования или циклов тестирования.

11. Эвристика «Уклонения/безразличия». Такой вариант возможен в том случае, если тестируемым не интересно как работает программа, или тестируемое ПО является первой версией, которую вскоре заменят.

Подводя итоги вышесказанному, тестирование программного обеспечения — это трудоемкий процесс, который не подвергается определенным правилам и не всегда следует по определенному алгоритму. Нельзя сказать, что для определенного типа программ больше подходит определенная технология тестирования. Для каждого определенного случая подбирается своя методика тестирования и свои эвристики остановки. Этот выбор зависит от многих критериев, таких как тип программного обеспечения, цели создания программного обеспечения, задачи, для выполнения которых создавалось данное программное обеспечение. Человек, занимающийся тестированием программного обеспечения должен обладать большим багажом знаний для эффективного и своевременного поиска ошибок.

Литература:

1. Гленфорд Майерс, Том Баджетт, Кори Сандлер. Искусство тестирования программ, 3-е издание = The Art of Software Testing, 3rd Edition. — М.: «Диалектика», 2012.
2. Канер Кем, Фолк Джек, Нгуен Енг Кек. Тестирование программного обеспечения. Фундаментальные концепции менеджмента бизнес-приложений. — Киев: ДиаСофт, 2001.
3. Калбертсон Роберт, Браун Крис, Кобб Гэри. Быстрое тестирование. — М.: «Вильямс», 2002.

Разработка методологических основ программной оптимизации систем нейрокомпьютерной обработки информации

Романчук Виталий Александрович, кандидат технических наук, доцент
Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина

Рассматриваются вопросы оптимизации кода для многопроцессорных систем на базе концептуально нового поколения вычислительной техники — нейрокомпьютеров, принцип функционирования которых основан на принципах мышления человека. Показана методология разбиения программы на множество подпрограмм, загружаемых на нейропроцессорный вычислительный модуль системы.

Ключевые слова: нейрокомпьютер, оптимизация, распараллеливание, обработка информации, программа.

Введение. Программирование нейрокомпьютера — это обучение его на выполнение той или иной задачи, в связи с чем известные методы оптимизации и распараллеливания нейрокомпьютерной программы не могут быть использованы [1]. В свою очередь, интерес же к нейрокомпьютерам и нейрокомпьютерным системам постоянно увеличивается, их применяют в различных сферах: космос, военная промышленность, дорожное движение и др., в связи с чем, возникает необходимость разработки математического, алгоритмического и программного обеспечения создания и оптимизации программ для нейрокомпьютеров и систем на их базе. Следует также отметить, что нейрокомпьютерные системы обладают очень высоким уровнем распараллеливания, в связи с чем наиболее важна задача именно распараллеливания и оптимизации вычислительных систем на базе нейропроцессорных устройств [1–3].

Цель работы: разработка математического аппарата программной оптимизации в вычислительных системах различной структуры на базе нейропроцессоров.

Пусть $A^{(j)}$ — некоторый j -й алгоритм обработки информации для реализации его на на нейропроцессорной платформе. Введем множество операций $O = \{O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_o\}$. С учетом введенного множества операций этот алгоритм обработки информации представляет собой кортеж, состоящий из операций $O_1, O_2, \dots, O_m, \dots, O_M$ длиной $L_j = |A^{(j)}|$; $j = \overline{1, N}$, т. е.:

$$A^{(j)} \Leftarrow \{O_1, O_2, \dots, O_m, \dots, O_M\}; j = \overline{1, N}. \quad (1)$$

Исходя из математического смысла нейрокомпьютерной обработки множество операций нейрокомпьютера рационально разделить на 2 подмножества [4–11]:

1. Множество операций первого типа, представляющих математическую модель формального нейрона, и состоящее из одной операции $O^{(1)} = \{O_1^{(1)}\}$:

$$O_1^{(1)} = f\left(\sum_{m=1}^n a_m x_m + a_0\right) \quad (2)$$

Операция $O_1^{(1)}$ может быть рассмотрена в виде множества самостоятельных операций исходя из функциональных блоков, ее реализующих:

$$O_1^{(1)} = \{O_{1.1}^{(1)}, O_{1.2}^{(1)}, \dots, O_{1.N}^{(1)}\}, \quad (3)$$

где N — количество возможных видов векторных операций эмуляции нейрона в нейропроцессоре.

2. Множество вспомогательных операций второго типа: обмена данными, управления подготовки данных, и др.

$$O^{(2)} = \{O_1^{(2)}, O_2^{(2)}, \dots, O_i^{(2)}, \dots, O_o^{(2)}\} \quad (5)$$

Тогда алгоритм (1) можно записать следующим образом:

$$A^{(j)} = \langle O_1, O_2, \dots, O_m, \dots, O_M \rangle; O_m = \{O_1^{(1)}, O_1^{(2)}, O_2^{(2)}, \dots, O_o^{(2)}\}; j = \overline{1, N} \quad (6)$$

На этапе разработки программы каждой операции ставится в соответствие микрокоманда процессора $MK_p; \forall p = \overline{1, K_i}$, где $MK = \{MK_1, MK_2, \dots, MK_i, \dots, MK_I\}$ - множество микрокоманд, написанных на внутреннем языке нейропроцессора; K_i - минимальное количество микрокоманд, необходимое для реализации операции O_m .

Множество микрокоманд также можно разделить на 2 подмножества:

$$MK = MK^{(1)} \cup MK^{(2)}, \quad (7)$$

$$MK^{(1)} = \{MK_1^{(1)}, MK_2^{(1)}, \dots, MK_i^{(1)}, \dots, MK_{mk1}^{(1)}\}, \quad (8)$$

где $mk1$ — число сочетаний исходя из (3) для конкретного нейропроцессора. Для того, чтобы определить $mk1$, необходимо найти количество сочетаний команды притом, что часть функциональных блоков и часть может быть незадействована, т. е. количество возможных вариантов, если задействован один функциональный блок, если два, и т. д.:

$$mk1 = \sum_{m=1}^{NP} C_{NP}^m = \sum_{m=1}^{NP} \frac{NP!}{m(NP - m)!}, \quad (9)$$

где C_{NP}^m — число сочетаний из NP элементов по m .

$$MK^{(2)} = \{MK_1^{(2)}, MK_2^{(2)}, \dots, MK_i^{(2)}, \dots, MK_p^{(1)}\}, \quad (10)$$

где p — количество возможных микрокоманд, возможных для реализации вспомогательных операций второго типа, определяемых согласно (5).

Тогда, для каждой операции первого типа:

$$\forall O_m \in O^{(1)} : O_1^{(1)} \rightarrow \{MK_p^{(1)}\}; \forall p = \overline{1, K_i}; \forall m = \overline{1, O_{NP}} \quad (11)$$

Под программой $PR^{(j)}$ понимается кортеж микрокоманд:

$$PR^{(j)} = \langle MK_1, MK_2, \dots, MK_i, \dots, MK_I \rangle; MK_i = \{MK_i^{(1)}, MK_i^{(2)}\}; i = \overline{1, I}; \quad (12)$$

длиной $L^{(j)} = |PR^{(j)}|$.

В данном пункте на основании алгебраического подхода предлагается методика разбиения программы $PR^{(j)}$ на множество подпрограмм $\{RO_l^{(j)}\}; l = \overline{1, L}; j = \overline{1, N}$ исходя из числа нейропроцессорных вычислительных модулей (НПВМ) q [78].

Исходя из специфики и принципов функционирования нейрокомпьютеров, количество команд $MK^{(1)}$ гораздо больше команд $MK^{(2)}$ (не превышает 1 %), более того команды второго типа «делят» кортеж микрокоманд на сегменты, так как являются вспомогательными для подготовки данных (рисунок 1).



Рис. 1. Сегменты программы для нейрокомпьютера

Исходя из принципов функционирования и назначения нейрокомпьютера, количество и вид команд $MK^{(2)}$ зависит от кортежа команд $MK^{(1)}$, то есть каждая, произвольно взятая команда $MK_n^{(2)}$ зависит от некоторой команды $MK_j^{(1)}$ то есть:

$$\forall MK_n^{(2)} \in RP^{(j)} : MK_n^{(2)} = f(MK_j^{(1)}); i = \overline{1, N_2}, \quad (13)$$

где N_2 — количество операций второго типа. Также, каждой операции $MK^{(1)}$ может соответствовать одна или несколько операций $MK^{(2)}$, подготавливающих данные. Поэтому, в дальнейших рассуждениях считаем команды $MK^{(2)}$ невливающими на функционирование нейропроцессорной системы и не рассматриваем отдельно.

Рассмотрим отношение двух произвольно взятых микрокоманд $MK_k^{(1)}$ и $MK_l^{(1)}$, каждая из которых представляет собой комплекс несвязанных между собой команд $MK^{(1)} = \{MK_1^{(1)}, MK_2^{(1)}, \dots, MK_i^{(1)}, \dots, MK_{mk1}^{(1)}\}$, число которых зависит от конкретного нейрокомпьютера. При этом, рассматривая две команды в виде «черного ящика», имеем:

- одинаковое функциональное назначение — эмуляция нейрона;
- одинаковое время выполнения команды, равное одному такту нейропроцессора;
- воздействие на один и тот же набор аппаратных ресурсов;
- аппаратная реализация нейрокомпьютера предполагает один и тот же путь потока данных и потока команд.

Введем понятие функционального равенства микрокоманд $MK_k^{(1)} = MK_l^{(1)}$, под которым будет подразумеваться равенство времени исполнения команды $T_{MK_k^{(1)}} = T_{MK_l^{(1)}}$ и равенство используемых командой аппаратных ресурсов $R_{MK_k^{(1)}} = R_{MK_l^{(1)}}$, т.е:

$$MK_k^{(1)} = MK_l^{(1)} = \begin{cases} T_{MK_k^{(1)}} = T_{MK_l^{(1)}} \\ R_{MK_k^{(1)}} = R_{MK_l^{(1)}} \end{cases} \quad (14)$$

Тогда справедливо утверждение о том, что отношение E двух произвольно взятых микрокоманд $MK_k^{(1)}$ и $MK_l^{(1)}$, удовлетворяющим (14), есть отношение эквивалентности.

Отношение эквивалентности — это бинарное отношение, для которого выполнены следующие условия: рефлексивность, симметричность, транзитивность.

Рассмотрим каждое из этих условий:

1. Всякая микронейрокоманда $MK_k^{(1)}$, удовлетворяющая (14), и являющаяся отражением модели нейрона, может выполняться параллельно самой себе, что подразумевает сама архитектура нейросети и нейрокомпьютера, т. е. $MK_k^{(1)} EMK_k^{(1)}$. Таким образом, справедливо условие рефлексивности команд $\forall MK_k^{(1)} \in PR^{(j)}; k = \overline{1, J}$.

2. Если команда $MK_k^{(1)}$, функционально равна команде $MK_l^{(1)}$, то и команда $MK_k^{(1)}$ функционально равна команде $MK_l^{(1)}$ и одновременно с ней может выполняться, что предполагается исходя из парадигмы нейрокомпьютинга т. е.:

$$\forall MK_k^{(1)}, MK_l^{(1)} \in PR^{(j)} : MK_k^{(1)} ERO_k \rightarrow MK_l^{(1)} EMK_k^{(1)}. \quad (15)$$

Другими словами выполняется условие симметричности двух нейромикрокоманд.

3. Если команда $MK_k^{(1)}$ функционально равна команде $MK_l^{(1)}$, а команда $MK_l^{(1)}$ функционально равна $MK_m^{(1)}$, тогда команда $MK_k^{(1)}$ функционально равна $MK_m^{(1)}$ и параллельна команде $MK_m^{(1)}$, т. е.

$$\forall MK_k^{(1)}, MK_l^{(1)} \in PR^{(j)} \in E : MK_k^{(1)} EMK_l^{(1)}, MK_l^{(1)} EMK_m^{(1)} \rightarrow MK_k^{(1)} EMK_m^{(1)}. \quad (16)$$

Таким образом, справедливо условие транзитивности нейромикрокоманд.

Введем понятие сегмента SG нейромикропрограммного кода, поразумевающего кортеж команд $MK^{(1)}$ и связанных вспомогательных команд подготовки данных $MK^{(2)}$:

$$SG_i^{(j)} = \langle \langle MK_1^{(2)}, MK_2^{(2)}, \dots, MK_{i1}^{(2)} \rangle, \langle MK_1^{(1)}, MK_2^{(1)}, \dots, MK_m^{(1)} \rangle, \langle MK_1^{(2)}, MK_2^{(2)}, \dots, MK_{i2}^{(2)} \rangle \rangle; i = \overline{1, M} \quad (17)$$

Тогда всю программу $PR^{(j)}$ можно разделить на кортеж сегментов:

$$PR^{(j)} \rightarrow \langle SG_1^{(j)}, SG_2^{(j)}, \dots, SG_m^{(j)} \rangle; m = \overline{1, M}; \forall j = \overline{1, N} \quad (18)$$

Под подпрограммой нейропрограммы RO_i будем понимать кортеж сегментов:

$$RO_i^{(j)} = \langle SG_1^{(j)}, SG_2^{(j)}, \dots, SG_{l_s}^{(j)} \rangle; l = \overline{1, L}; \forall j = \overline{1, N} \quad (19)$$

На рисунке 2 показано сегментирование и программы $PR^{(j)}$.

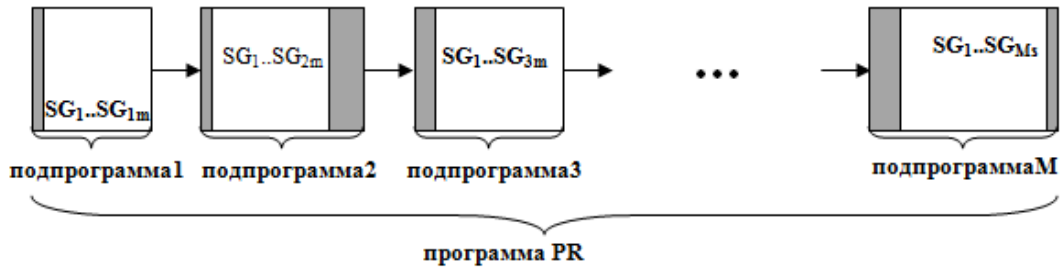


Рис. 2. Сегментирование программы $PR^{(j)}$

Рассмотрим две произвольно взятые подпрограммы RO_j и RO_k , каждая из которых представляет собой некоторый сегмент (рисунок 2), то есть представляет собой множество команд эмуляции нейрона, каждая из которых эквивалентна другой, произвольно выбранной команде, и вспомогательные команды, подготавливающие данные для обработки и являющиеся неотъемлемой частью множества команд первого типа:

$$RO_n^{(j)} = \langle MK_1, MK_2, \dots, MK_i, \dots, MK_l \rangle; MK_i = \{MK_i^{(1)}, MK_i^{(2)}\}; i = \overline{1, l}$$

$$\forall MK_k^{(1)}, MK_l^{(1)} \in RO_n^{(j)} \in E : MK_k^{(1)} E MK_l^{(1)} \quad (20)$$

Рассмотрим отношение $RO_l S_w RO_k$ структуры S_w , которое указывает на то, что любые две произвольно взятые подпрограммы RO_j и RO_k , удовлетворяющие (17), могут выполняться одновременно на разных НПВМ под управлением микрокоманд, принадлежащих указанным подпрограммам, т. е.:

$$\forall RO_l, RO_k \in PR^{(j)} : RO_l S_w RO_k \quad (21)$$

Справедливо утверждение о том, что отношение структуры обработки S_w есть отношение эквивалентности. Тогда задача разбиения программы на множество подпрограмм преобразуется в задачу рационального последовательного объединения сегментов $\langle SG_m \rangle; m = \overline{1, M}$ в множество подпрограмм $\{RO_l^{(j)}\}; l = \overline{1, L}$:

$$PR^{(j)} \rightarrow \langle SG_1^{(j)}, SG_2^{(j)}, \dots, SG_m^{(j)} \rangle \rightarrow \{RO_l^{(j)}\}; m = \overline{1, M}; l = \overline{1, L}; \forall j = \overline{1, N} \quad (22)$$

То есть, задача разбиения заключается в нахождении значения l_s выражения (22) для всех подпрограмм $RO_l^{(j)}; l = \overline{1, L}$, где число подпрограмм равно числу НПВМ $L = q$:

$$\begin{cases} RO_l^{(j)} = \langle SG_1^{(j)}, SG_2^{(j)}, \dots, SG_{l_s}^{(j)} \rangle; l = \overline{1, L}; \forall j = \overline{1, N} \\ L = q \end{cases} \quad (23)$$

Пусть число команд $MK^{(1)}$ в программе $PR^{(j)}$, определяемой как (18) равно $|MK_{PR}^{(1)}|$, число команд некоторого сегмента $SG_i^{(j)}$ равно $|MK_i^{(1)}|$.

Цель разбиения программы на подпрограммы состоит в достижении одинакового времени обработки для всех этапов, то есть, в данном случае, в достижении одинакового количества команд $MK^{(1)}$ для всех подпрограмм. Тогда необходимо определить среднее число $\overline{MK_{PR}^{(1)}}$ команд $MK^{(1)}$ в подпрограмме:

$$\overline{MK_{PR}^{(1)}} = \frac{|MK_{PR}^{(1)}|}{q} \quad (24)$$

Далее, добавление нового сегмента $SG_i^{(j)}$ к подпрограмме возможно лишь тогда, когда разность значения $\overline{MK}_{PR}^{(1)}$ и суммарного количества команд $MK_i^{(1)}$ уже добавленных в подпрограмму $RO_i^{(j)}$ сегментов больше, чем $\frac{|MK_{PR}^{(1)}|}{2}$.

$$\text{То есть, если верно условие } \overline{MK}_{PR}^{(1)} - \sum_{ll=lb}^{le} |MK_l^{(1)}| \geq \frac{|MK_{PR}^{(1)}|}{2}, \quad (25)$$

где ll определяет номера сегментов, уже включенных в подпрограмму:

lb — номер первого сегмента в подпрограмме $RO_i^{(j)}$;

le — номер последнего сегмента в подпрограмме $RO_i^{(j)}$.

$$\text{Тогда } RO_i^{(j)} \rightarrow RO_i^{(j)} + SG_i^{(j)}; le \rightarrow le + 1 \quad (26)$$

Если условие (25) неверно, то

$$RO_{l+1}^{(j)} \rightarrow RO_{l+1}^{(j)} + SG_i^{(j)}; lb = i; ln = i \quad (27)$$

Таким образом, в соответствии с выражениями (23)-(27), нейромикропрограмма $PR^{(j)}$ может быть рационально разделена на подпрограммы $PR^{(j)} \rightarrow \{RO_l^{(j)}\}; l = \overline{1, L}; \forall j = \overline{1, N}$, для которых верно отношение структуры обработки информации S_w .

Литература:

1. Галушкин, А.И. Нейронные ЭВМ — перспективное направление развития вычислительной техники — М.: Препринт, 1991. — 615 с.
2. Головкин, Б.А. Вычислительные системы с большим числом процессоров. М.: Радио и связь, 1995. — 320 с.
3. Злобин, В.К., Григоренко Д.В., Ручкин В.Н., Романчук В.А. Кластеризация и восстанавливаемость нейропроцессорных систем обработки данных // Известия тульского государственного университета. Технические науки. — Тула: Издательство ТулГУ, 2013. — Вып. 9. — Ч. 2. — с. 125–135.
4. Романчук, В.А., Ручкин В.Н. Разработка программных средств анализа нейропроцессорных систем // Вестник РГРТУ. — Рязань: РГРТУ, 2010. — № 2. — Вып. 32. — с. 61–67.
5. Романчук, В.А., Ручкин В.Н. Разработка программного комплекса для моделирования и анализа нейропроцессорных систем обработки изображений // Цифровая обработка сигналов. — Рязань: Информационные технологии, 2010. — № 1. — с. 53–58.
6. Романчук, В.А., Ручкин В.Н. Оценка результатов моделирования вычислительных систем на базе нейропроцессоров // Известия тульского государственного университета. Технические науки. — Тула: Издательство ТулГУ, 2013. — Вып. 9–2 — с. 194–203.
7. Романчук, В.А. Моделирование нейропроцессорных систем // Отраслевые аспекты технических наук: научно-практический журнал. — Москва: ИНГН, 2013. — № 10 (34). — с. 19–24.
8. Романчук, В.А., Ручкин В.Н. Разработка алгоритмов определения вида структуры нейропроцессорной системы на основе описания связей ее элементов // Информатика и прикладная математика: межвуз. сб. науч. тр. — Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2011. — Вып. 17. — с. 106–109.
9. Романчук, В.А. Инновационный программный комплекс моделирования вычислительных систем на базе нейропроцессоров «НейроКС» // Современные научные исследования и инновации. — Декабрь, 2012 [Электронный ресурс]. — URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/12/19407>.
10. Романчук, В.А. Разработка алгоритмов определения связей элементов вычислительной структуры на базе нейропроцессоров // Информатика и прикладная математика: межвуз. сб. науч. тр. — Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2011. — Вып. 17. — с. 102–105.
11. Романчук, В.А. Оптимизация программных и аппаратных средств сложных вычислительных систем на базе нейропроцессоров // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. — 2015. — № 1 (8) 3 [Электронный ресурс]. URL: http://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2015/03/Romanchuk_1_15_1.pdf.

12. Ручкин, В. Н., Романчук В. А., Фулин В. А., Пролыгина А. А. Экспертная система нечеткой кластеризации нейропроцессорных систем // Известия тульского государственного университета. Технические науки. — Тула: Издательство ТулГУ, 2014. — Вып. 6. — с. 162–167.

Разработка обобщенной модели архитектуры нейрокомпьютера

Романчук Виталий Александрович, кандидат технических наук, доцент
Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина

Рассматриваются вопросы разработки обобщенной модели архитектуры концептуально нового поколения вычислительной техники — нейрокомпьютеров, принцип функционирования которых основан на принципах мышления человека. Показаны особенности структуры вычислителя нейрокомпьютера, благодаря которому достигается высокий уровень распараллеливания вычислительных операций.

Ключевые слова: модель, архитектура, нейрокомпьютер, параллелизм.

Введение. В настоящее время становится ясно, что архитектура современных вычислительных систем, основанных на принципах Дж. фон Неймана имеет ряд существенных недостатков [2]. Последовательная организация вычислительного процесса предполагает относительно низкую производительность системы. Другой недостаток обуславливает низкую эффективность использования дорогостоящей памяти при наличии одного процессора-ядра. Это связано с тем, что подавляющее большинство ячеек памяти в процессе работы бездействует и поэтому коэффициент использования аппаратуры будет очень низким [1]. Третий недостаток — разработчик вынужден подстраивать алгоритм решения задачи под «жесткую» структуру вычислительной системы.

С другой стороны, инженерная реализация нейронного компьютера У. МакКаллока и У. Питтса, описанная в «Логическом исчислении идей, имманентных нервной активности» [3–11] в виде комплекса нейропроцессоров позволяет избавиться от перечисленных недостатков. В настоящее время имеется ряд архитектур нейрокомпьютера, разрабатываемых компаниями IBM, НТЦ «Модуль» и др., но трудностью разработки математического, алгоритмического и программного обеспечения для них является отсутствие обобщенной модели нейрокомпьютера.

Целью работы является разработка обобщенной модели архитектуры нейрокомпьютера исходя из особенностей обработки информации и отличий от архитектуры Дж. фон Неймана.

Нейрокомпьютер — устройство переработки информации на основе принципов работы естественных нейронных систем [3–9].

Важным принципиальным преимуществом нейрокомпьютера является высокий уровень параллелизма операций. Проблема эффективного параллелизма решается долгое время для процессоров, работающих в соответствии с принципами фон Неймана, но задача до сих пор не решена в полной мере, что связано с законом Гроша и гипотезой Минского. Закон Гроша определяет, что про-

изводительность одного процессора увеличивается пропорционально квадрату его стоимости (на практике закон выполняется до определенной экспериментальной границы). Гипотеза Минского определяет, что в параллельной системе с n процессорами производительность каждого из которых равно 1, общая производительность растет лишь как $\log_2 n$. Для различных классов задач строятся максимально параллельные алгоритмы решения, использующие какую-либо абстрактную архитектуру (парадигму) мелкозернистого параллелизма, а для конкретных параллельных компьютеров создаются средства реализации параллельных процессов заданной абстрактной архитектуры. Нейроинформатика предоставляет универсальные мелкозернистые параллельные архитектуры для решения различных классов задач, для которых строится абстрактная нейросетевая реализация алгоритма решения, которая затем реализуется на конкретных параллельных вычислительных устройствах — нейрокомпьютерах.

На рисунке 1 показаны экспериментальные зависимости производительности системы от количества процессоров в системе для различных архитектур компьютеров. Рассмотрены варианты для процессоров архитектуры фон Неймана, нейрокомпьютера при реализации ИНП, нейрокомпьютера при реализации одной из практических задач.

Введем понятие «идеальная нейропрограмма» (ИНП), которая предполагает функционирование нейрокомпьютера только в режиме эмуляции элементарных нейронов без вспомогательных функций предварительной обработки и обмена данных. ИНП может быть реализована в связи с однородностью операций. В этом случае производительность b системы с n процессорами, каждый из которых имеет производительность 1 можно оценить следующим образом: $b = n$.

На практике не удается избежать вспомогательных функций в нейропрограмме (НП), их процент обычно не превышает 1%. Тогда, исходя из понятия «нейрокомпьютер», уменьшение производительности системы должно иметь не логарифмический, а линейный характер,

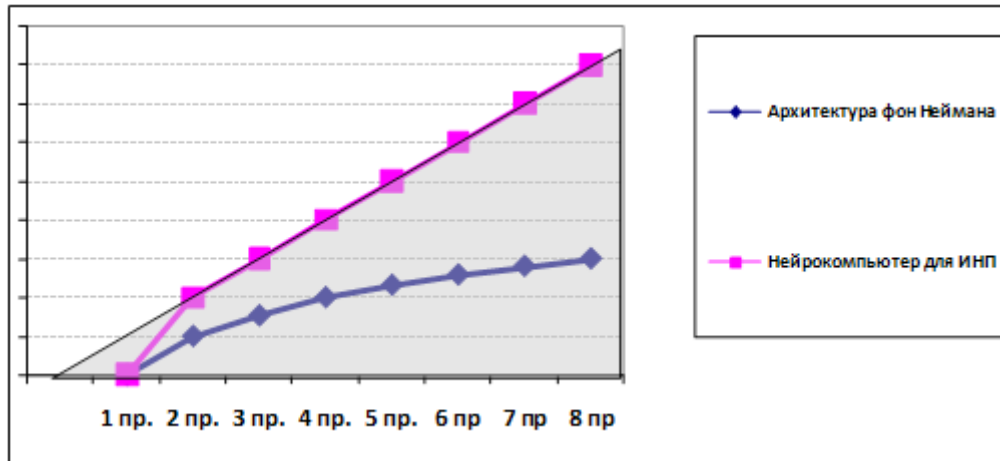


Рис. 1. Экспериментальные зависимости производительности многопроцессорной системы от количества процессоров для различных архитектур

то есть: $b = n - k * n$, где k — некоторый коэффициент, показывающий уменьшение производительности при увеличении числа процессорных модулей. При $k = 0$ имеем ИНП.

Рассмотрим архитектурные особенности нейрокомпьютера. На рисунке 2 представлена структурная схема абстрактного нейрокомпьютера. Такую схему можно назвать обобщенной, так как она поясняет принцип работы любого нейрокомпьютера независимо от его конструктивного исполнения [2].

Рассмотрим каждый блок в отдельности.

1. Аппаратнореализуемая нейронная сеть — основной операционный блок, его процессор. Этот блок не производит вычислений, как это делает арифметико-логическое устройство машин фон Неймана, а трансформирует входной сигнал в выходной в соответствии со своей топологией и значениями коэффициентов межнейронных связей. В запоминающем устройстве хранится не программа решения задачи, как в машинах фон Неймана, а программа изменений коэффициентов связи между нейронами. Устройства ввода и вывода инфор-

мации выполняют те же функции, что и в машинах фон Неймана. Устройство управления служит для синхронизации работы всех структурных блоков нейрокомпьютера при решении конкретной задачи.

Искусственная нейронная сеть (ИНС) — динамическая система, состоящая из совокупности связанных между собой по типу узлов направленного графа элементарных процессоров, называемых формальными нейронами, и способная генерировать выходную информацию в ответ на входное взаимодействие.

Формальный нейрон — элементарный процессор, используемый в узлах нейронной сети. Математическую модель формального нейрона можно представить функцией:

$$y = f(g) = f\left(\sum_{i=1}^n a_i x_i + a_0\right),$$

где y — выходной сигнал нейрона; $f(g)$ — функция выходного блока нейрона; a_i — постоянный коэффициент — вес i -го входа; x_i — i -й входной сигнал; a_0 — начальное состояние (возбуждение) нейрона; $i = 1, 2, 3, \dots, n$ — номер входа нейрона; n — число входов.



Рис. 2. Структурная схема абстрактного нейрокомпьютера

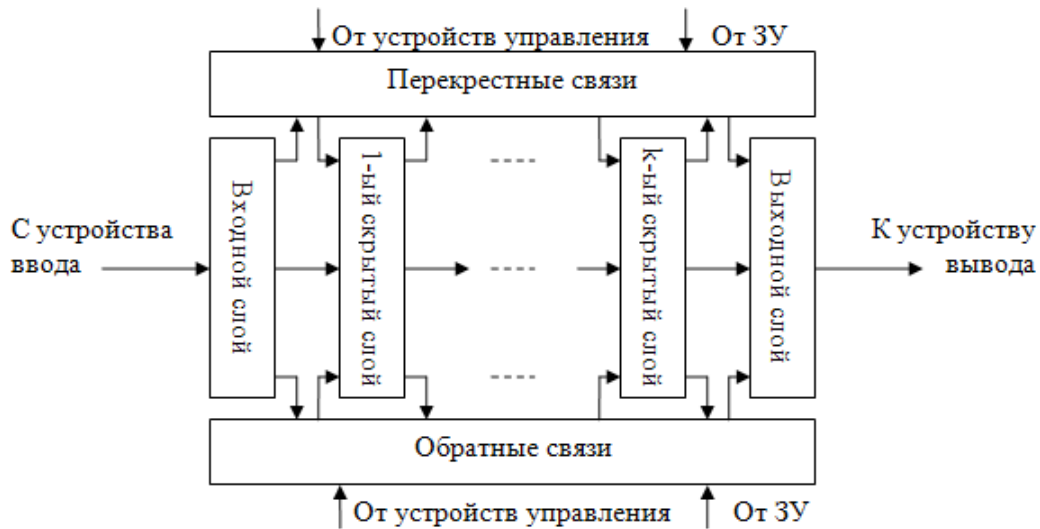


Рис. 3. Структурная схема нейронной сети

На рисунке 3 приведена структурная схема нейронной сети [4].

Эта схема также представляет собой структурную схему операционного блока нейрокompьютера. Данные

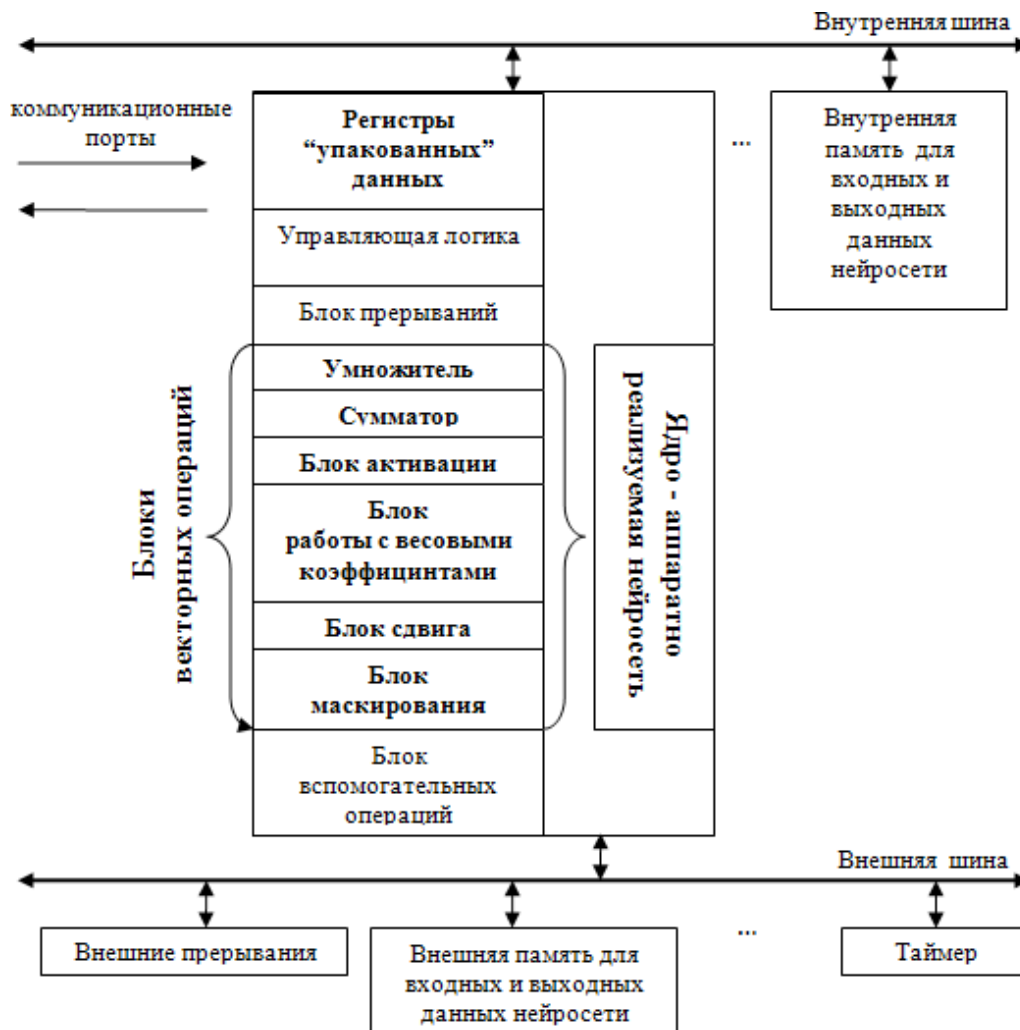


Рис. 4. Обобщенная модель описания архитектуры нейропроцессора

поступают на входной слой ИНС, далее обрабатываются в соответствии с коэффициентами межнейронных перекрестных и обратных связей. Результаты работы нейрокомпьютера поступают на устройство вывода с выходного слоя ИНС.

Таким образом, нейрокомпьютер должен обладать функциональными аппаратными блоками для решения задачи сложения, умножения, функции активации, загрузки и хранения весовых коэффициентов нейронной сети. Некоторые нейрокомпьютеры могут иметь возможности выполнения других операций для эмуляции элементарного нейрона, например, операцию сдвига или маскирования, но следует отметить, что в этом случае операция не увеличивает длительность выполнения микрокоманды.

2. Запоминающее устройство

В соответствии с подходом коннекционизма, память для нейрокомпьютера распределена в связях между простыми автоматами (формальными нейронами), то есть, в отличие от архитектуры фон Неймана, память не выделена в отдельный общий для всех команд блок. В случае нейрокомпьютера неявно выражено разделение между потоками команд и данных, так как процессорное устройство и ячейки памяти объединены.

Литература:

1. Бикташев, Р.А. Многопроцессорные системы. Архитектура, топология, анализ производительности: Учебное пособие. Пенза: Пенз. гос. университет, 2003. 103 с.
2. Галушкин, А.И. Нейронные ЭВМ — перспективное направление развития вычислительной техники — М.: Препринт, 1991.—615 с.
3. Романчук, В.А., Ручкин В.Н., Колмыков М.В. Возможности программного комплекса NM Model для разработки и отладки программ обработки изображений // Вестник РГРТУ. — Рязань: РГРТУ, 2008. — № 2. — Вып. 24. — с. 83–85.
4. Романчук, В.А., Ручкин В.Н., Фулин В.А. Разработка модели сложной нейропроцессорной системы // Цифровая обработка сигналов. — Рязань: Информационные технологии, 2012. — № 4. — с. 70–74.
5. Романчук, В.А., Ручкин В.Н. Разработка алгоритмов определения вида структуры нейропроцессорной системы на основе описания связей ее элементов // Информатика и прикладная математика: межвуз. сб. науч. тр. — Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2011. — Вып. 17. — с. 106–109.
6. Романчук, В.А., Ручкин В.Н. Оценка результатов моделирования вычислительных систем на базе нейропроцессоров // Известия тульского государственного университета. Технические науки. — Тула: Издательство ТулГУ, 2013. — Вып. 9–2 — с. 194–203.
7. Романчук, В.А. Моделирование нейропроцессорных систем // Отраслевые аспекты технических наук: научно-практический журнал. — Москва: ИНГН, 2013. — № 10 (34). — с. 19–24.
8. Романчук, В.А. Инновационный программный комплекс моделирования вычислительных систем на базе нейропроцессоров «НейроКС» // Современные научные исследования и инновации. — Декабрь, 2012 [Электронный ресурс]. — URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/12/19407>.
9. Романчук, В.А. Разработка алгоритмов определения связей элементов вычислительной структуры на базе нейропроцессоров // Информатика и прикладная математика: межвуз. сб. науч. тр. — Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2011. — Вып. 17. — с. 102–105.
10. Ручкин, В.Н., Романчук В.А., Фулин В.А. Естественный параллелизм квантовых компьютеров и нейровычислителей // Вестник РГУ имени С.А. Есенина. — Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2013. — № 2 (39). — С. 147–156.
11. Шумский, С.А. Нейрокомпьютинг — состояние и перспективы [Текст]. — Физический институт РАН им. Лебедева.: — М., 2002.

3. Блок обучения и устройство ввода

В работе абстрактного нейрокомпьютера выделяют два главных режима — обучение и рабочий режим. Для того, чтобы нейрокомпьютер решал требуемую задачу, его искусственная нейронная сеть должна пройти обучение. Суть обучения заключается в настройке коэффициентов межнейронных связей на совокупность входных образов поставленной задачи. Установка коэффициентов осуществляется с использованием примеров, сгруппированных в обучающие множества и поступающих с блока ввода. Рабочий режим нейросети представляет собой прямое распространение сигнала.

На основании архитектуры и общих принципов функционирования нейропроцессоров, можно описать обобщенную модель архитектуры нейропроцессора (рисунок 4 на стр. 63). На рисунке выделены элементы, являющиеся отличиями нейрокомпьютеров от классических компьютеров.

Таким образом, показана обобщенная модель архитектуры нейрокомпьютера, которая может служить основой математического, алгоритмического и программного обеспечения для нейрокомпьютера, независимо от его производителя.

Реализация Windows-приложения, выполняющего шифрование и дешифрование текста шифрами Цезаря и Хилла

Фалалеева Вероника Сергеевна, студент

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Пермский филиал

В данной статье разобраны алгоритмы шифрования и дешифрования текста шифром Цезаря и шифром Хилла, а также описывается Windows-приложение, реализующее данные алгоритмы.

Ключевые слова: шифрование, дешифрование, шифр Цезаря, шифр Хилла, криптология.

Введение

В современном мире, где хранение и передача информации играют центральную роль, и потеря которой может принести огромный урон, одной из главных проблем является содержание секретных сведений под надежной защитой. Для решения данной проблемы была придумана такая наука, как криптология. Криптология — это наука, которая, в свою очередь, делится на два раздела: криптография и криптоанализ. Криптография — это наука о защите данных путем шифрования, а криптоанализ — наука получения сведений о секретной информации, не имея ключа.

Описание алгоритмов шифров Цезаря и Хилла

Люди стали использовать шифрование еще с древних времен, когда появилась первая секретная информация. Один из самых первых и известных шифров — это шифр Цезаря. Он использовал простейший метод шифрования, смысл которого заключается в том, чтобы каждая буква заменялась буквой на три позиции дальше по алфавиту. Правило шифрования будет выглядеть следующим образом: «А» заменяется на «Г», «Б» заменяется на «Д», «В» заменяется на «Е» и так далее. В свою очередь, «Б» заменяется на «Я», а буква «Э» заменится на «А» и снова по кругу. Также всю полезную информацию о данном шифре можно найти в [2] и [4].

Шифр Хилла — это шифр подстановки, основанный на законах линейной алгебры и изобретенный в 1929 году Лестером С. Хиллом. Алгоритм данного шифра состоит в следующем: для начала следует пронумеровать исходный алфавит. Алфавитом считаются не только буквы, но и символы, причем заглавная буква «А» будет отличаться от прописной буквы «а». Полученное количество букв и символов далее будет называться модулем. Например, в русском алфавите из заглавных букв модуль будет равен 33. Ниже в примере будет рассматриваться именно этот алфавит. Таким образом, сегмент из 33 номеров можно представить в виде некоторого вектора v_1 . Следующий шаг — составление ключевой матрицы C . При этом матрица может быть любого размера, только следует помнить, что, чем больше матрица, тем сложнее расшифровывать текст и, соответственно,

наоборот. Также следует избегать нулей в ключевой матрице — это способствует быстрой расшифровке, а значит, такой шифр гораздо легче взломать. Еще один из очень важных пунктов, которые не следует забывать: ключевая матрица должна быть обратимой, иначе расшифровка текста будет невозможной. Стоит, к тому же, проверить, чтобы модуль алфавита и определитель ключевой матрицы не имели никаких общих делителей, кроме единицы. Затем матрица C умножается на вектор v_1 по модулю 33. Проблема данного шифра заключается в том, что на все известные языки мира составлена статистика частоты встречаемости каждой буквы, что, несомненно, сильно упрощает расшифровку текста, не зная при этом ключевой матрицы. Особенности шифра Хилла можно найти в [1] и [3].

Для лучшего понимания шифровки и дешифровки текста ниже разобран пример.

Рассмотрим слово «МОСКВА». Оно делится на два блока по три буквы: «МОС» и «КВА». Блоку «МОС» соответствует вектор $v_1 = (14, 16, 19)$, а блоку «КВА» — вектор $v_2 = (12, 3, 1)$.

Ключом данного шифра будет матрица C (которая необходима для шифрования) размерностью 3×3 , т.е. $n = 3$:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 4 \\ 3 & 8 & 5 \end{pmatrix}$$

Обратной матрицей по модулю 33 будет матрица D (которая необходима для расшифровки):

$$D = \begin{pmatrix} 8 & 17 & 8 \\ 28 & 14 & 5 \\ 23 & 7 & 27 \end{pmatrix}$$

Тогда $C \cdot v_1 = (103, 212, 265)$, а $C \cdot v_2 = (21, 67, 65)$.

Полученные значения следует разделить на 33 и записать остаток — он и будет зашифрованным сообщением.

$(103 \bmod 33, 212 \bmod 33, 265 \bmod 33) = (4, 14, 1)$, что соответствует вектору «ГМА».

$(21 \bmod 33, 67 \bmod 33, 65 \bmod 33) = (21, 1, 32)$, что соответствует вектору «УАЮ».

Таким образом, вместо слова «МОСКВА» мы получили слово «ГМАУАЮ».

Расшифруем данное сообщение:

$w_1 = (4, 14, 1)$, тогда $D*w_1 = (278, 313, 217)$, а $w_2 = (21, 1, 32)$, и $D*w_2 = (441, 762, 1354)$.

$(278 \bmod 33, 313 \bmod 33, 217 \bmod 33) = (14, 16, 19)$ — это и есть блок «МОС».

$(441 \bmod 33, 762 \bmod 33, 1354 \bmod 33) = (12, 3, 1)$ — а это блок «КВА».

Итак, в ходе дешифровки получилось исходное слово «МОСКВА». Так как после дешифрования получилось слово, которое и было зашифровано, то можно сказать, что шифрование было выполнено верно.

Описание разработанного приложения

Приложения, реализующего шифрование и дешифрование текста шифром Цезаря и шифром Хилла, в общем доступе обнаружено не было. Следовательно, данное приложение будет одним из первых в своем роде. Поэтому приложение должно быть дружелюбным и интуитивно простым в использовании, чтобы каждый среднестатистический пользователь компьютера мог самостоятельно работать в нем. Для быстрого и удобного шифрования и дешифрования текста было разработано приложение, реализующее алгоритмы шифров Цезаря и Хилла только на стационарных компьютерах.

Приложение получает на вход:

1. Текстовое сообщение (на русском языке с использованием знаков препинания).
2. Шифр на выбор пользователя: либо шифр Цезаря, либо шифр Хилла.

3. Действие на выбор пользователя: либо шифрование, либо дешифрование.

4. Если пользователем был выбран шифр Цезаря, то пользователь также должен ввести величину сдвига (максимальный размер которого 6 знаков).

5. Если пользователем был выбран шифр Хилла, то пользователь также должен ввести размерность ключевой матрицы (максимальный размер матрицы равен $9*9$) и саму матрицу (члены которой имеют максимальный размер 3 знака).

6. Результатом работы приложения будет являться зашифрованная строка.

Для получения наиболее удобного в использовании интерфейса было разработано две формы, которые показаны на рисунках 1 и 2. Также на рисунках 1, 2 и 3 показаны примеры результата работы приложения.

Заключение

Итогом работы стало приложение, выполняющее шифрование и дешифрование текста шифром Цезаря и шифром Хилла.

Для разработки данного приложения были изучены такие разделы линейной алгебры как обратный элемент в кольце по модулю, расширенный алгоритм Евклида, нахождение обратной матрицы по модулю, к тому же были разобраны методы работы с WindowsForms, библиотекой Math. NetNumerics и листами, а также отработаны навыки программирования, алгоритмизации и проектирования интерфейса.

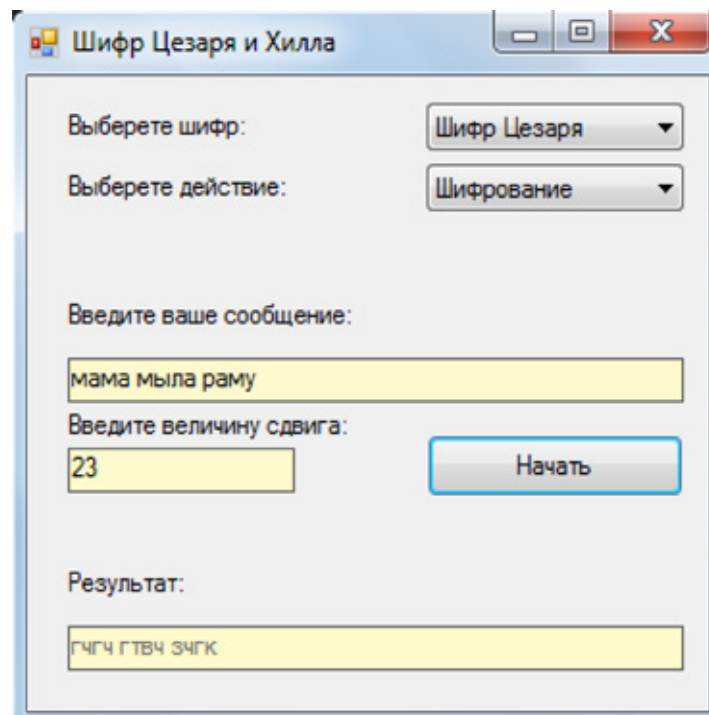


Рис. 1. Пример работы шифрования текста шифром Цезаря

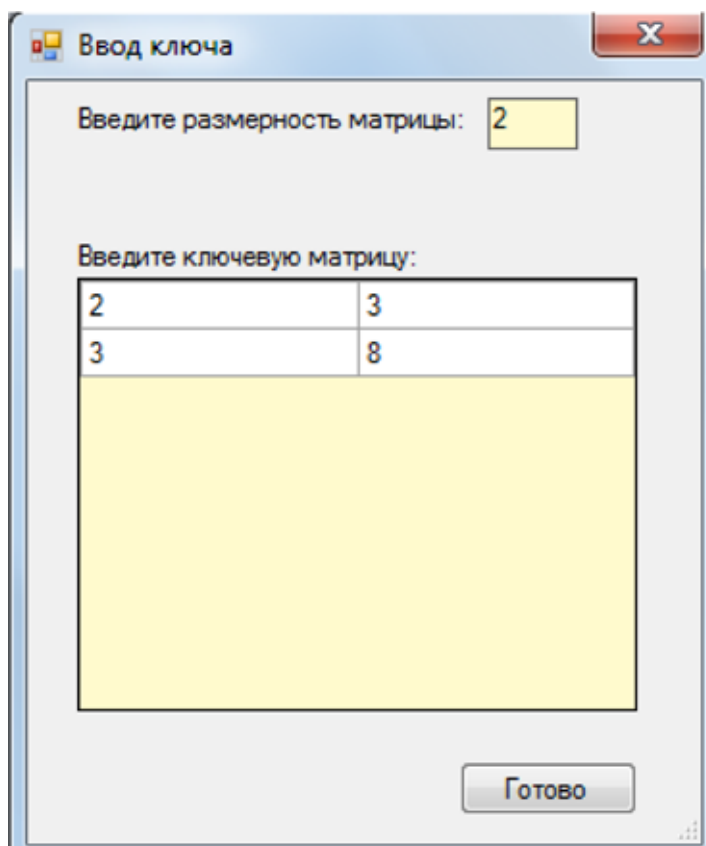


Рис. 2. Пример ввода ключевой матрицы для шифра Хилла

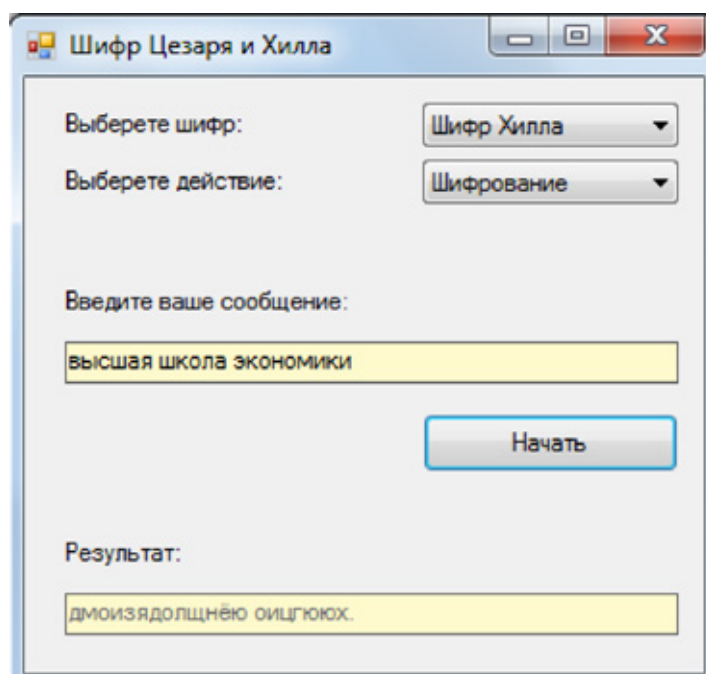


Рис. 3. Пример работы шифрования текста шифром Хилла

Данное приложение можно улучшить, если добавить возможность выбирать файлы для шифрования. Дополнительно можно добавить модернизированные виды

шифров, а также новые шифры, возможность шифрования текста не только на русском языке, но и на других языках мира.

Библиографический список

1. Шифр Хилла. // Проект КРИПТО-NNN. [Электронный ресурс]. [Режим доступа: <http://crypto.hut2.ru/hill.html>] [Проверено: 12.03.2015]
2. Worbst R. Cryptology Unlocked Translated by Angelika Shafir, 2007. — 557 с.
3. Шифр Хилла. // Академик. [Электронный ресурс]. [Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1346299#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BC.D0.B5.D1.87.D0.B0.D0.BD.D0.B8.D1.8F>] [Проверено: 9.03.2014]
4. Dennis L. Cryptology: From Caesar Ciphers to Public-Key Cryptosystems, 1997. — 17с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты влияния применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) в зависимости от различных установочных УОВТ при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ на максимальное давление сгорания в цилиндре.

Ключевые слова: дизель, метанол, двойная система топливоподачи, максимальное давление.

Влияние применение метанола с ДСТ на максимальное значение давления газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ на номинальном режиме работы при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$. Из графиков видно, что при увеличении установочных углов впрыскивания ДТ и метанола, максимальное значение давления газов увеличивается во всем диапазоне изменения углов впрыскивания представлено на рисунке 1.

При угле впрыскивания дизельного топлива $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$ максимальное значение давления увеличивается с $p_{z\text{max}} = 5,19 \text{ МПа}$ при $\Theta_{М} = 22^\circ$ до $p_{z\text{max}} = 6,82 \text{ МПа}$ при $\Theta_{М} = 34^\circ$. Рост составляет 31,1%. При увеличении установочного угла впрыскивания до $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$ максимальное зна-

чение давления газов изменяется с $p_{z\text{max}} = 5,19 \text{ МПа}$ при $\Theta_{М} = 22^\circ$ до $p_{z\text{max}} = 7,22 \text{ МПа}$ при $\Theta_{М} = 34^\circ$. Увеличение равно 39,2%. При изменении угла впрыскивания дизельного топлива до $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$ максимальное значение давления газов изменяется с 5,39 МПа до 7,60 МПа при изменении установочного угла впрыскивания метанола с $\Theta_{М} = 22^\circ$ до $\Theta_{М} = 38^\circ$, соответственно. Увеличение составляет 40,1% [1–11].

При увеличении установочного угла впрыскивания до $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$ максимальное значение давления газов изменяется с $p_{z\text{max}} = 5,39 \text{ МПа}$ при $\Theta_{М} = 22^\circ$ до $p_{z\text{max}} = 7,74 \text{ МПа}$ при $\Theta_{М} = 38^\circ$. Изменение равно 43,6%. При угле впрыскивания дизельного топлива $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$ макси-

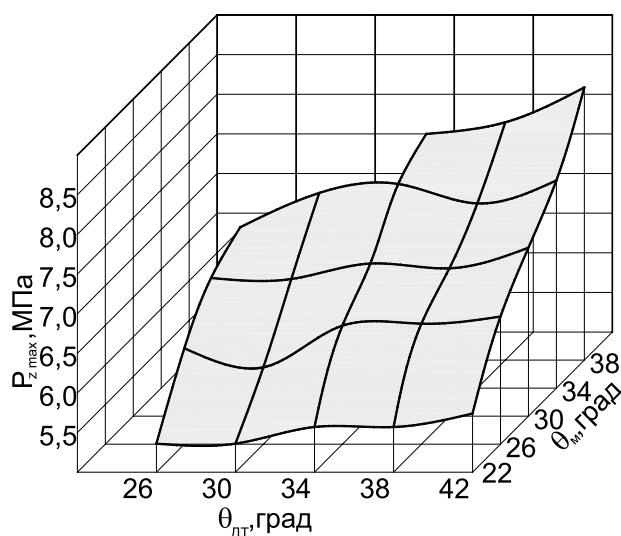


Рис. 1. Влияние применение метанола с ДСТ на максимальное значение давления сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,594 \text{ МПа}$, $q_{цд} = 6,0 \text{ мг/цикл}$

мальное значение давления увеличивается с $p_{z\max} = 5,55$ МПа при $\Theta_M = 22^\circ$ до $p_{z\max} = 8,17$ МПа при $\Theta_M = 34^\circ$. Рост составляет 47,0% [12–21].

При угле впрыскивания дизельного топлива $\Theta_M = 22^\circ$ максимальное значение давления увеличивается с $p_{z\max} = 5,19$ МПа при $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$ до $p_{z\max} = 5,55$ МПа при $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$. Рост составляет 7,0%. При увеличении установочного угла впрыскивания $\Theta_M = 26^\circ$ до максимальное значение давления газов изменяется с $p_{z\max} = 6,01$ МПа при $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$ до $p_{z\max} = 6,4$ МПа при $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$. Увеличение равно 6,4%. При изменении угла впрыскивания метанола до $\Theta_M = 30^\circ$ максимальное значение давления газов изменяется с 6,52 МПа до 6,9 МПа при изменении установочного угла впрыскивания метанола

с $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$ до $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$, соответственно. Увеличение составляет 5,7%.

При увеличении установочного угла впрыскивания до $\Theta_M = 34^\circ$ максимальное значение давления газов изменяется с $p_{z\max} = 6,82$ МПа при $\Theta_{ДТ} = 26^\circ$ до $p_{z\max} = 7,37$ МПа при $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$. Изменение равно 8,4%. При угле впрыскивания дизельного топлива $\Theta_M = 38^\circ$ максимальное значение давления увеличивается с $p_{z\max} = 7,6$ МПа при $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$ до $p_{z\max} = 8,17$ МПа при $\Theta_{ДТ} = 42^\circ$. Рост составляет 7,5% [22–30].

Таким образом можно сделать вывод, что подача метанола оказывает более сильное влияние на изменение максимального значения сгорания газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 [31–36].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинский В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С 13–16.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.

15. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М.Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91).С. 445–448.
17. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливopодачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеcодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
20. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
21. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
22. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М.Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М.Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М.Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
29. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.
31. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
32. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
33. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Исследование процессов сажеобразования и сажеcодержания в цилиндре быcтроходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
34. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
35. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.

Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля при $n=1400 \text{ мин}^{-1}$

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты влияния применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) в зависимости от различных установочных УОВТ при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре.

Ключевые слова: дизель, метанол, двойная система топливоподачи, осредненная температура.

Влияние применения метанола с ДСТ на максимальную осредненную температуру газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ на режиме максимального крутящего момента при $n=1400 \text{ мин}^{-1}$ представлено на рисунке 1.

Как видно из графиков при увеличении установочных углов опережения впрыскивания метанола значение максимальной осредненной температуры увеличивается во всем диапазоне изменения углов впрыскивания ДТ. При изменении установочных углов впрыскивания ДТ значение максимальной осредненной температуры меняется сложным характером [1–11].

При угле впрыскивания дизельного топлива $\Theta_{ДТ}=26^\circ$ значение максимальной осредненной температуры увеличивается с $T_{\max} = 1870 \text{ К}$ при $\Theta_{М}=22^\circ$ до $T_{\max} = 1940 \text{ К}$ при $\Theta_{М}=34^\circ$. Рост составляет 3,7%. При увеличении установочного угла впрыскивания до $\Theta_{ДТ}=30^\circ$ максимальное значение давления газов изменяется с $T_{\max} = 1840 \text{ К}$ при $\Theta_{М}=22^\circ$ до $T_{\max} = 1980 \text{ К}$ при $\Theta_{М} = 34^\circ$. Увеличение равно 7,6%. При изменении угла впрыскивания дизельного топлива до $\Theta_{ДТ}=34^\circ$ значение максимальной осредненной температуры изменяется с 1810 К до 2000

К при изменении установочного угла впрыскивания метанола с $\Theta_{М}=22^\circ$ до $\Theta_{М} = 38^\circ$, соответственно. Увеличение составляет 10,5% [12–20].

При увеличении установочного угла впрыскивания до $\Theta_{ДТ}=38^\circ$ значение максимальной осредненной температуры изменяется с $T_{\max} = 1870 \text{ К}$ при $\Theta_{М}=22^\circ$ до $T_{\max} = 2030 \text{ К}$ при $\Theta_{М} = 38^\circ$. Изменение равно 8,6%. При угле впрыскивания дизельного топлива $\Theta_{ДТ}=42^\circ$ значение максимальной осредненной температуры увеличивается с $T_{\max} = 1860 \text{ К}$ при $\Theta_{М}=22^\circ$ до $T_{\max} = 2050 \text{ К}$ при $\Theta_{М}=38^\circ$. Рост составляет 10,2% [21–31].

При угле впрыскивания дизельного топлива $\Theta_{М}=22^\circ$ значение максимальной осредненной температуры уменьшается с $T_{\max} = 1870 \text{ К}$ при $\Theta_{ДТ}=26^\circ$ до $T_{\max} = 1860 \text{ К}$ при $\Theta_{ДТ}=42^\circ$. Снижение составляет 0,1%. При увеличении установочного угла впрыскивания до $\Theta_{М}=26^\circ$ значение максимальной осредненной температуры изменяется с $T_{\max} = 1920 \text{ К}$ при $\Theta_{ДТ}=26^\circ$ до $T_{\max} = 1880 \text{ К}$ при $\Theta_{ДТ}=42^\circ$. Снижение равно 2,0%.

При изменении угла впрыскивания метанола до $\Theta_{М}=30^\circ$ значение максимальной осредненной температуры изменяется с 1920 К до 1950 К при изменении установочного

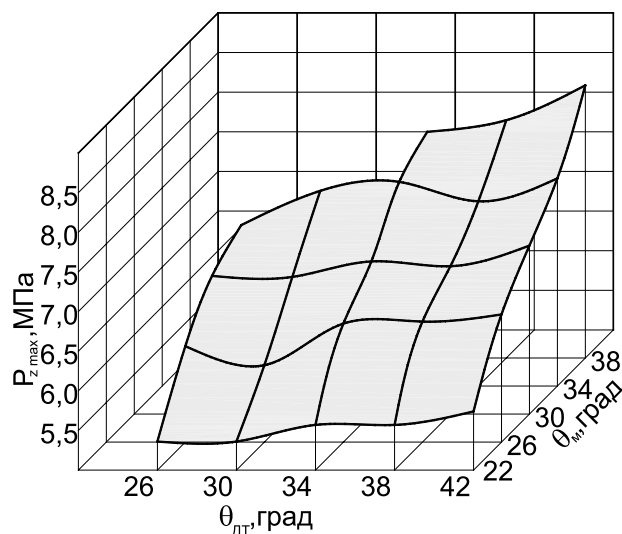


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ на максимальную осредненную температуру газов дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,594 \text{ МПа}$, $q_{цд} = 6,0 \text{ мг/цикл}$

угла впрыскивания метанола с $\Theta_{\text{дт}}=26^\circ$ до $\Theta_{\text{дт}}=42^\circ$, соответственно. Рост составляет 1,5% [32–36].

При увеличении установочного угла впрыскивания до $\Theta_{\text{м}}=34^\circ$ значение максимальной осредненной температуры изменяется с $T_{\text{max}} = 1940$ К при $\Theta_{\text{дт}}=26^\circ$ до T_{max}

$= 2000$ К МПа при $\Theta_{\text{дт}}=42^\circ$. Изменение равно 3,0%.

При угле впрыскивания дизельного топлива $\Theta_{\text{м}}=38^\circ$ значение максимальной осредненной температуры увеличивается с $T_{\text{max}} = 2000$ К при $\Theta_{\text{дт}}=34^\circ$ до $T_{\text{max}} = 2050$ К при $\Theta_{\text{дт}}=42^\circ$. Рост составляет 2,5%.

Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинецкий В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С. 13–16.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.

19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
20. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
21. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
22. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М.Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М.Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М.Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
29. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.
31. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
32. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
33. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстрогоходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
34. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
35. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.

Изменения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты влияния применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) при оптимальных значений установочных УОВТ на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$.

Ключевые слова: дизель, метанол, двойная система топливоподачи, объемное содержание, массовая концентрация.

Увеличение процентного выгорания топлива в начальный период при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ приводит к снижению доли потерь теплоты в этот период. Это вызывает увеличение коэффициента активного тепловыделения, что предопределяет более эффективное использование теплоты в цилиндре дизеля в начальный период сгорания основной части топлива [1–9].

Графики объемного содержания $g_{\text{NOx расч}}$, массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ, рассчитанных по результатам экспериментальных данных, и $g_{\text{NOx опыт}}$, полученное по результатам газового анализа ОГ, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на ДТ и метаноле с ДСТ, в зависимости от изменения нагрузки для номинальной частоты вращения 1800 мин^{-1} представлены на рисунке 1.

Анализируя изменения значений показателей процесса сгорания в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и оптимальных УОВТ, можно отметить следующее. Максимальное давление цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ на малых нагрузках меньше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ максимальное давление цикла снижается с $p_{z \text{ max}} = 5,8 \text{ МПа}$ при работе дизеля на ДТ до $p_{z \text{ max}} = 5,2 \text{ МПа}$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 10,3%. С увеличением нагрузки происходит увеличение максимального давления сгорания. Так, при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$ $p_{z \text{ max}} = 7,2 \text{ МПа}$ при работе дизеля на ДТ, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ — $p_{z \text{ max}} = 7,3 \text{ МПа}$. Увеличение составляет 1,39% [10–19].

Максимальная осредненная температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ на малых нагрузках ($p_e = 0,127 \text{ МПа}$) снижается и составляет 1360 К по сравнению с максимальной температурой при работе дизеля на ДТ, которая составляет 1540 К. Снижение составляет 180 К, или 11,7%. При увеличении нагрузки до $p_e = 0,65 \text{ МПа}$ максимальная осредненная температура цикла при работе дизеля на метаноле с использованием ДСТ возрастает и составляет 2040 К по сравнению с T_{max} при работе на ДТ, которая равна 2020 К. Увеличение составляет 20 К.

Анализируя изменения значений объемного содержания $g_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости

от изменения нагрузки при частоте вращения $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Объемное содержание $g_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ объемное содержание $g_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 225 ppm при работе на ДТ до 215 ppm при работе на метаноле с ДСТ, или на 4,4%.

При $p_e = 0,55 \text{ МПа}$ объемное содержание $g_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ еще более существенно. Если при работе на ДТ объемное содержание $g_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет 420 ppm, то при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ — только 285 ppm. Снижение составляет 32%. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$) снижение объемного содержания $g_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет от 380 ppm при работе дизеля на ДТ до 250 ppm при работе дизеля на метаноле с ДСТ, или 34,2% [20–27].

Анализируя изменения значений объемного содержания $g_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Объемное содержание $g_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ объемное содержание $g_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 242 ppm при работе на ДТ до 236 ppm при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 6 ppm, или 2,5%. При $p_e = 0,55 \text{ МПа}$ объемное содержание $g_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ еще более существенно. Если при работе на ДТ объемное содержание $g_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет 465 ppm, то при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ — только 320 ppm. Снижение составляет 145 ppm, или 31,2%. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$) снижение объемного содержания $g_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет от 420 ppm при работе дизеля на ДТ до 275 ppm при работе дизеля на метаноле с ДСТ, т.е. на 145 ppm, или на 31,2%.

Анализируя изменения значений массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости

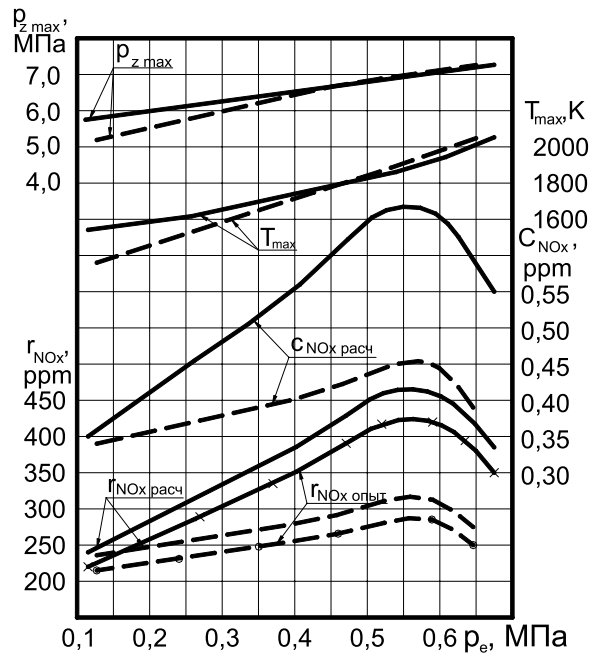


Рис. 1. Влияние применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в ОГ, показатели процесса сгорания в цилиндре в зависимости от изменения нагрузки при $\Theta_{дт} = 34^\circ$, $\Theta_{м} = 34^\circ$; $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; — — — — дизельный процесс; - - - - метанол с запальным ДТ

от изменения нагрузки при частоте вращения $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Массовая концентрация $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ массовая концентрация $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ снижается с $0,35 \text{ г/м}^3$ при работе на ДТ до $0,34 \text{ г/м}^3$ при работе на метаноле с ДСТ. При $p_e = 0,55 \text{ МПа}$ массовая концентрация $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ еще более суще-

ственно снижается. Если при работе на ДТ массовая концентрация $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет $0,67 \text{ г/м}^3$, то при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ — только $0,45 \text{ г/м}^3$. Снижение составляет $0,22 \text{ г/м}^3$, или $32,8\%$. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$) снижение массовой концентрации $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет от $0,58 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на ДТ до $0,40 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ, т. е. на $0,18 \text{ г/м}^3$, или на $31,1\%$ [28–34].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.

7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // *Известия Международной академии аграрного образования*. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // *Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения*. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // *Потенциал современной науки*. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанолю-топливной эмульсии // *Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник*: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинецкий В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // *Тракторы и сельхозмашины*. 2006. № 11. С 13–16.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // *Тракторы и сельхозмашины*. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // *Транспорт на альтернативном топливе*. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанолю- и этанолю-топливных эмульсий // *Тракторы и сельхозмашины*. 2015. № 3. с. 3–6.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // *Молодой ученый*. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // *Молодой ученый*. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеосодержания // *Молодой ученый*. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
19. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // *Молодой ученый*. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
20. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на частоте вращения максимального крутящего момента // *Молодой ученый*. 2015. № 12 (92). с. 298–301.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // *Молодой ученый*. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
22. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // *Молодой ученый*. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
23. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // *Молодой ученый*. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
24. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // *Молодой ученый*. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
25. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // *Молодой ученый*. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
26. Скрябин, М. Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // *Молодой ученый*. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
27. Скрябин, М. Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением надувочного воздуха при работе на природном газе // *Молодой ученый*. 2015. № 12 (92). с. 306–309.

28. Скрябин, М. Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
29. Скрябин, М. Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
30. Скрябин, М. Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
31. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.
32. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этаноле-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
33. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
34. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Олейник М. А., Рудаков Л. В. Улучшение экологических показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 9. с. 8–10.

Объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле в зависимости от изменения частоты вращения

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты влияния применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) при оптимальных значений установочных УОВТ на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах в зависимости от изменения частоты вращения.

Ключевые слова: дизель, метанол, двойная система топливоподачи, объемное содержание, массовая концентрация.

Графики объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$, массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ, рассчитанных по результатам экспериментальных данных, и $\gamma_{\text{NOx опыт}}$, полученное по результатам газового анализа ОГ, максимальной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала, представлены на рисунке 1 [1–14].

Анализируя изменения значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения частоты вращения и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения частот вращения. Так, при частоте вращения $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 480 ppm при работе на ДТ до 310 ppm при работе на метаноле с ДСТ, т. е. на 170 ppm, или на 35,4%. Если при работе на ДТ при частоте вращения $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет 375 ppm, то при работе на метаноле с ДСТ только 255 ppm. Снижение составляет 120 ppm, или 32,0% [1–14].

Анализируя изменения значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения частоты вращения и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения частот вращения. Так, при частоте вращения $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 528 ppm при работе на ДТ до 341 ppm при работе на метаноле с ДСТ, т. е. на 187 ppm, или 35,41%. При частоте вращения $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ снижение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет от 412 ppm при работе дизеля на ДТ до 280 ppm при работе дизеля на метаноле с ДСТ, т. е. на 132 ppm, или на 32,0% [15–26].

Анализируя изменения значений массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения частоты вращения и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения частот вращения. Так, при частоте вращения $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ массовая кон-

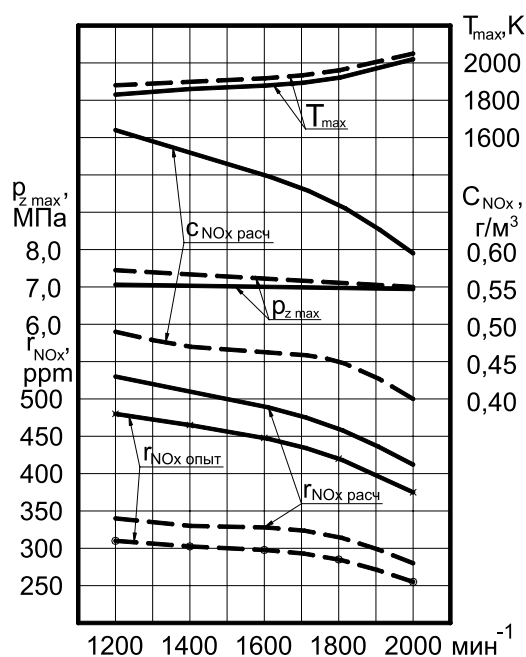


Рис. 1. Влияние применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в ОГ, показатели процесса сгорания в цилиндре в зависимости от изменения частоты вращения и $\Theta_{дт} = 34^\circ$, $\Theta_m = 34^\circ$: ——— — дизельный процесс; - - - - метанол с запальным ДТ

центрация $C_{NOx\ расч}$ оксидов азота в ОГ снижается с 0,76 г/м³ при работе на ДТ до 0,49 г/м³ при работе на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 0,27 г/м³, или 35,5%. При частоте вращения $n = 2000\ \text{мин}^{-1}$ при работе на ДТ массовая концентрация $C_{NOx\ расч}$ оксидов азота в ОГ составляет 0,59 г/м³, а при работе на метаноле с ДСТ только 0,40 г/м³. Снижение составляет 0,19 г/м³, или 32,2%.

Оксиды азота NO образуются во время горения в КС дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на ДТ и на метаноле в различных концентрациях. Очевидно цепные реакции начинаются с появления атомарного кислорода, который образуется вследствие диссоциации молекул кислорода при высоких температурах, достигаемых в процессе горения ДТ и метанола. Поэтому при горении в цилиндре

дизеля 2Ч 10,5/12,0 двух видов топлива, имеющих различный углеводородный состав, сильно отличающийся по физико-химическим свойствам друг от друга, возможно предположить, что образование NO в цилиндре связано в основном с локальными концентрациями атомов кислорода и значениями максимальных температур [27–33].

Скорость образования NO очевидно выше в пламени богатых смесей, чем в стехиометрических или бедных. Однако окончательная концентрация максимальна для смесей, которые несколько беднее стехиометрической. Зоны горения бедной смеси метанола и ДТ являются одними из главных зон образования NO, поскольку эта часть сгорает первой и имеет наибольшее время пребывания в послепламенной зоне [34–40].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.

6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанолю- и этанолю топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинецкий В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С 13–16.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанолю-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанолю- и этанолю-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажевого содержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
19. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
20. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанолю-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 298–301.
21. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
22. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
23. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
24. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
25. Скрябин, М. Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
26. Скрябин, М. Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.

27. Скрябин, М.Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
28. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
29. Скрябин, М.Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
30. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
31. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.
32. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этанолю-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
33. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
34. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Олейник М. А., Рудаков Л. В. Улучшение экологических показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 9. с. 8–10.
35. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстрогоходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
36. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
37. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
38. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
39. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
40. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.

Объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота в отработавших газах дизеля при работе на метаноле и $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты влияния применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) при оптимальных значений установочных УОВТ на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$.

Ключевые слова: дизель, метанол, двойная система топливоподачи, объемное содержание, массовая концентрация.

Влияние применения метанола с ДСТ на объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$, массовую концентрацию $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ, рассчитанных по результатам экспериментальных данных, и $\gamma_{\text{NOx опыт}}$, полученное по результатам газового анализа ОГ, осредненную температуру и давление газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения при максимальном крутящем моменте ($n = 1400 \text{ мин}^{-1}$) представлено на рисунке 1.

Анализируя изменения значений показателей процесса сгорания в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что максимальное давление цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ на малых нагрузках меньше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ максимальное давление цикла снижается с $p_{z \text{ max}} = 5,46 \text{ МПа}$ при работе дизеля на ДТ до $p_{z \text{ max}} = 4,7 \text{ МПа}$ при ра-

боте дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 13,9%. С увеличением нагрузки происходит увеличение максимального давления сгорания. Так, при $p_e = 0,635$ МПа значение $p_{z \max} = 7,10$ МПа при работе дизеля на ДТ, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ $p_{z \max} = 7,50$ МПа. Увеличение составляет 5,6% [1–11].

Максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ на малых нагрузках ($p_e = 0,127$ МПа) составляет 1280 К, а при работе на ДТ — $T_{\max} = 1400$ К. Увеличение составляет 120 К, или 9,4%. При увеличении нагрузки до $p_e = 0,635$ МПа максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ возрастает и составляет 1960 К по сравнению с T_{\max} при работе дизеля на ДТ, которая равна 1920 К. Увеличение составляет 40 К, или 2% [12–19].

Анализируя изменения значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n = 1400$ мин⁻¹ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 265 ppm при работе на ДТ до 245 ppm при работе на метаноле с ДСТ, или на 8,2%. При $p_e = 0,530$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет 480 ppm, а при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ, — только 300 ppm. Снижение составляет 37,5%. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,635$ МПа) снижение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов

азота в ОГ составляет от 430 ppm, при работе дизеля на ДТ, до 280 ppm при работе дизеля на метаноле с ДСТ, или 34,9% [20–27].

Анализируя изменения значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n = 1400$ мин⁻¹ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 280 ppm при работе на ДТ до 270 ppm при работе на метаноле с ДСТ, т. е. на 10 ppm, или 3,6%. При $p_e = 0,530$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе на ДТ составляет 545 ppm, а при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ — только 335 ppm. Снижение составляет 210 ppm, или 38,5%. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,635$ МПа) снижение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет от 475 ppm при работе дизеля на ДТ до 320 ppm при работе дизеля на метаноле с ДСТ, т. е. на 155 ppm, или на 32,6%.

Анализируя изменения значений массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n = 1400$ мин⁻¹ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127$ МПа массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 0,42 г/м³ при ра-

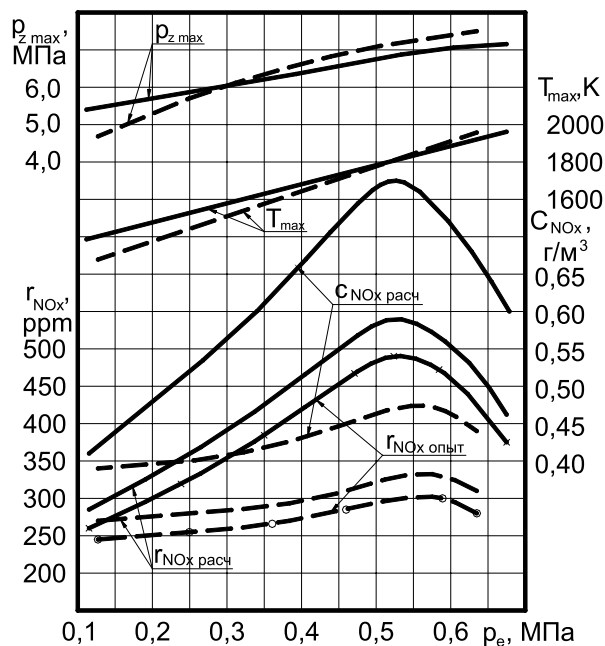


Рис. 1. Влияние применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в ОГ, показатели процесса сгорания в цилиндре в зависимости от изменения нагрузки при $\vartheta_{\text{ДТ}} = 34^\circ$, $\vartheta_{\text{М}} = 34^\circ$, $n = 1400$ мин⁻¹; — — — — дизельный процесс; - - - - метанол с запальным ДТ

боте на ДТ до $0,38 \text{ г/м}^3$ при работе на метаноле с ДСТ. При $p_e = 0,530 \text{ МПа}$ массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ еще более существенно снижается. Если при работе на ДТ массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет $0,78 \text{ г/м}^3$, то при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ, — только $0,47 \text{ г/м}^3$.

Снижение составляет $0,31 \text{ г/м}^3$, или $39,7\%$. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$) снижение массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет от $0,68 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на ДТ до $0,44 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ, т. е. на $0,24 \text{ г/м}^3$, или на $35,3\%$ [28–34].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинецкий В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С 13–16.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 3. с. 3–6.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.

18. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливopодачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
19. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.
20. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 298–301.
21. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
22. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
23. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
24. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
25. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
26. Скрябин, М.Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
27. Скрябин, М.Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
28. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
29. Скрябин, М.Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
30. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
31. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.
32. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
33. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
34. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Олейник М. А., Рудаков Л. В. Улучшение экологических показателей дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 9. с. 8–10.
35. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстрогоходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
36. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.

Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле и $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$

Анфилатов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В работе приводятся результаты влияния применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи (ДСТ) в зависимости от различных установочных УОВТ на удельный эффективный расход топлива при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$.

Ключевые слова: дизель, метанол, двойная система топливоподачи, удельный эффективный расход топлива.

Зависимость изменения удельного эффективного расхода топлива дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ на режиме максимального крутящего момента при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ представлена на рисунке 1.

При изменении значений $g_{e\Sigma}$ видно, что при увеличении установочного УОВТ метанола от $\Theta_M = 22^\circ$ до $\Theta_M = 34^\circ$ значение $g_{e\Sigma}$ уменьшается во всем диапазоне изменения установочного УОВТ ДТ. при установочном УОВТ метанола $\Theta_M = 38^\circ$ значение удельного эффективного расхода $g_{e\Sigma}$ увеличивается при всех установочных УОВТ ДТ. Как видно из графика минимальное значение удельного эффективного расхода топлива $g_{e\Sigma}$ достигается при сочетании установочных УОВТ ДТ $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$ и метанола $\Theta_M = 34^\circ$ $g_{e\Sigma} = 490 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$. При изменении углов впрыскивания ДТ $\Theta_{ДТ}$ и метанола Θ_M в ту или иную сторону показатели экономичности ухудшаются [1–12].

При увеличении угла впрыскивания ДТ до $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$ и $\Theta_M = 34^\circ$ значение $g_{e\Sigma}$ увеличивается до $g_{e\Sigma} = 506 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$. С уменьшением угла впрыскивания ДТ до $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$ и $\Theta_M = 34^\circ$ значение $g_{e\Sigma}$ изменяется до $g_{e\Sigma} = 493 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$.

При увеличении угла впрыскивания до $\Theta_M = 38^\circ$ и $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$ значение удельного эффективного расхода изменяется до $g_{e\Sigma} = 512 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$. С уменьшением угла впрыскивания метанола до $\Theta_M = 30^\circ$ и $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$ значение $g_{e\Sigma}$ увеличивается до $g_{e\Sigma} = 502 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$.

С одновременным увеличением углов впрыскивания метанола до $\Theta_M = 38^\circ$ и ДТ $\Theta_{ДТ} = 38^\circ$ удельный эффективный расход увеличивается до $g_{e\Sigma} = 511 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$. При уменьшении углов подачи ДТ $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$ и метанола до $\Theta_M = 30^\circ$ $g_{e\Sigma}$ изменяется до $g_{e\Sigma} = 494 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ [13–19].

Таким образом, на основании полученных данных, минимальное значение удельного эффективного расхода топлива наблюдается при углах впрыскивания ДТ $\Theta_{ДТ} = 34^\circ$ и метанола $\Theta_M = 34^\circ$ на режиме максимального крутящего момента при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ $g_{e\Sigma} = 490 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$.

На режиме максимального крутящего момента при частоте вращения при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ значение удельного эффективного расхода изменяется до $g_{e\Sigma} = 494 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$. При сочетании установочных УОВТ ДТ $\Theta_{ДТ} = 30^\circ$ и метанола $\Theta_M = 30^\circ$ на режиме максимального крутящего

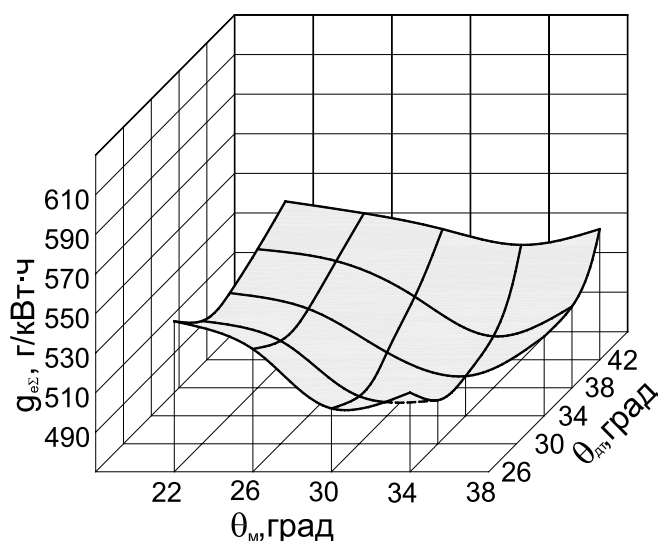


Рис. 1 Влияние применение метанола с ДСТ на удельный эффективный расход топлива дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных УОВТ при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e = 0,594 \text{ МПа}$, $q_{цд} = 6,0 \text{ мг}/\text{цикл}$

момента при $n=1400 \text{ мин}^{-1}$ значение $g_{e\Sigma}$ изменяется до $g_{e\Sigma}=494 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ [20–29].

На режиме максимального крутящего момента при частоте вращения при $n=1400 \text{ мин}^{-1}$ значение удельного эффективного расхода изменяется до $g_{e\Sigma}=512 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$.

При сочетании установочных УОВТ ДТ $\Theta_{\text{ДТ}} = 38^\circ$ и метанола $\Theta_{\text{М}} = 38^\circ$ на режиме максимального крутящего момента при $n=1400 \text{ мин}^{-1}$ значение $g_{e\Sigma}$ изменяется до $g_{e\Sigma}=511 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ [30–36].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние применения природного газа и рециркуляции отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсий на содержание токсичных компонентов в ОГ // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 4 (46). с. 42–47.
2. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Результаты исследований содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. с. 66–68.
3. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследования эффективных и экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе с рециркуляцией отработавших газов, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. с. 22–25.
4. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 26–28.
5. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Влияние рециркуляции отработавших газов на индикаторные показатели газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 31–33.
6. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей процесса сгорания газодизеля при работе с рециркуляцией отработавших газов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 33–36.
7. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование эффективных показателей дизеля при работе на природном газе, метанола- и этанола-топливных эмульсиях // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4–1 (35). с. 79–81.
8. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. Т. 4. № 16. с. 170–173.
9. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование скоростного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 3 (16). с. 24–26.
10. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Исследование нагрузочного режима дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией, метанола- и этанола топливных эмульсиях // Потенциал современной науки. 2015. № 3 (11). с. 40–44.
11. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Научно-практический журнал Пермский аграрный вестник: 2013. № 1 (1). с. 29–32.
12. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Олейник М. А., Дубинецкий В. Н. Особенности химизма и феноменологии образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2006. № 11. С. 13–16.
13. Лиханов, В. А., Лопатин О. П., Шишканов Е. А. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля путем их рециркуляции // Тракторы и сельхозмашины. 2007. № 9. с. 8–9.
14. Лиханов, В. А., Лопатин О. П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. 2012. № 4 (28). с. 70–73.
15. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
16. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
17. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажесодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
18. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 301–303.

19. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
20. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
21. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
22. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 317–320.
23. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
24. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения нагрузки // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 314–317.
25. Скрябин, М.Л. Математическая модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4 ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 309–312.
26. Скрябин, М.Л. Особенности методики стендовых исследований работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 306–309.
27. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
28. Скрябин, М.Л. Исследование эффективных показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 312–315.
29. Скрябин, М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения природного газа и промежуточного охлаждения наддувочного воздуха // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). с. 315–318.
30. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Снижение выбросов сажи с отработавшими газами дизелей путем применения альтернативных топлив // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 13–16.
31. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Чупраков А. И. Особенности работы автотранспортного дизеля на этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 9. с. 16–19.
32. Лиханов, В. А., Россохин А. В., Полевщиков А. С. Влияние этанола на показатели дизеля Д21А1 // Автомобильная промышленность. 2011. № 12. с. 26–27.
33. Лиханов, В. А., Россохин, А. В. Исследование процессов сажеобразования и сажесодержания в цилиндре быстрогоходного дизеля с турбонаддувом Д-245.12С при работе на компримированном природном газе // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 223–226.
34. Лиханов, В. А., Россохин А. В. Оценка влияния режимов работы дизеля Д-245.12С на дымность отработавших газов при работе на нефтяном и альтернативных топливах // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 226–229.
35. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.

Приложения теории погрешностей в геодезических работах

Быкова Юлия Сергеевна, студент;

Снежкина Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Любые измерения сопровождаются неизбежными погрешностями. На примере теодолитной съёмки, проведенной студентами ПГУАС во время учебной геодезической практики и обработки полученных результатов, рассмотрим применение теории погрешностей в геодезических работах.

Изначально с помощью теодолита студенты измеряли внутренние углы в два приёма (при левом и правом круге теодолита). Затем с помощью среднего арифметического были получены окончательные значения углов (с помощью среднего арифметического получают наиболее надёжный результат из совокупности измерений одной и той же величины). Предположим, что было произведено n число равноточных измерений. Равноточными называются измерения, прове-

денные в одинаковых условиях, однотипными инструментами, одинаковое число раз, наблюдателями равной квалификации. Имеем:

$$\begin{cases} L1 - X = \Delta 1 \\ L2 - X = \Delta 2 \\ L3 - X = \Delta 3 \\ \dots \dots \dots \\ Ln - X = \Delta n \end{cases}$$

Просуммировав эти равенства, получим:

$$L1 + L2 + L3 \dots + Ln - nX = \Delta 1 + \Delta 2 + \Delta 3 \dots + \Delta n \quad (1)$$

Выразим

$$X = \frac{[L]}{n} - \frac{[\Delta]}{n}$$

Допустим, что число измерений неограниченно велико ($\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0$):

$$X_{n \rightarrow \infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[L]}{n} \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что предел среднего арифметического при неограниченном числе измерений стремится к истинному значению величины. Но количество измерений всегда ограничено и вместо равенства мы имеем неравенство

$X \neq \frac{[L]}{n}$, отличающееся от равенства на очень малую величину, имеющую своим пределом 0.

Введем понятие x — среднее арифметическое, тогда

$$x = \frac{[L]}{n} \quad (3)$$

На основании формулы (3) можно утверждать, что *среднее арифметическое* из одинаково точных измерений, является наиболее точным результатом при любом числе измерений, если $n > 1$.

Таблица 1. Определение горизонтальных углов

№ точек теодолитного хода	Значение угла при круге право	Значение угла при круге лево	Полученные углы, β_u
I	164°45'	164°49'	164°47'
II	96°08'	96°06'	96°07'
III	111°00'	111°06'	111°03'
IV	158°30'	158°34'	158°32'
V	167°29'	167°31'	167°30'
VI	87°40'	87°42'	87°41'
VII	114°19'	114°17'	114°18'
Сумма			899°58'
Теоретическая сумма			$S = (n - 2) \cdot 180^\circ = 5 \cdot 180^\circ = 900^\circ$

Исходя из этих данных, *погрешность измерений* равна: $\Delta = L - X = 899^\circ 58' - 900^\circ = -2'$. Эта величина является угловой *невязкой* полигона. Данная невязка сравнивается с допустимой невязкой, которая определяется по формуле: $f\beta_{доп} = 1' \cdot \sqrt{n}$, где n — число углов полигона: ($2' < 2'39"2' < 2'39"$). Полученная невязка, разнится равномерно на все углы полигона, с обратным знаком. Невязка отрицательная, значит она вносится со знаком +. Для удобства (чтобы не было значений углов с секундами) по $1'$ было добавлено в первый и четвёртый значения углов.

Далее студенты с помощью рулетки измеряли длины сторон полигона (т. е. горизонтальные проложения). Измерения производились дважды: в прямом и обратном направлении. Затем с помощью *среднего арифметического* рассчитывались итоговые значения.

Таблица 2. Расчёт значений длин сторон полигона

Обозначение линии	Длина стороны в прямом направлении	Длина стороны в обратном направлении	Полученное горизонтальное проложение линии, d_{i-k}
I–II	74.70	74.10	74.40
II–III	62.00	62.00	62.00
III–IV	26.50	26.70	26.60
IV–V	49.90	50.50	50.20
V–VI	78.80	78.00	78.40
VI–VII	54.00	52.60	53.30
VII–I	64.10	64.50	64.30

На следующем этапе теодолитной съёмки студенты рассчитывали приращения координат с помощью горизонтальных проложений и дирекционных углов α_{i-k} ($\Delta X = d \cdot \cos\alpha$, $\Delta Y = d \cdot \sin\alpha$). Сумма вычисленных приращений должна равняться 0.

В результате расчётов получились линейные невязки полигона по осям X и Y:

$$f_x = \sum +\Delta X + \sum -\Delta X = +88.31 + (-88.35) = -0.04$$

$$f_y = \sum +\Delta Y + \sum -\Delta Y = +149.03 + (-149.06) = -0.03$$

Абсолютная невязка полигона была определена по следующей формуле:

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(-0.04)^2 + (-0.03)^2} = 0.05$$

Для контроля правильности измерения полигона определим относительную невязку:

$$f_{отн} = \frac{f_p}{P},$$

где f_p — абсолютная невязка полигона,

P — периметр полигона (сумма горизонтальных проложений).

$$f_{отн} = \frac{0.05}{409.20} = 0.00012$$

Для сравнения относительной невязки с допустимой, ее значение удобно преобразовать в простую дробь, числителем которой является 1: $f_{отн} = \frac{1}{N} = \frac{1}{409.20/0.05} = \frac{1}{8184}$ (для этого числитель и знаменатель делим на f_p). Сравниваем полученную относительную невязку, с допустимой (допустимая относительная невязка задается исходя из рельефа местности). В нашем случае $1/N = 1/2000$ (принимается как для твердой поверхности со спокойным рельефом). Сравнивая относительные невязки $1/N_{пол} = 1/8184 < 1/N_{доп} = 1/2000$ можно сделать вывод, что полученная невязка допустима, а значит измерения проведены правильно.

Для того чтобы избавиться от полученных невязок в значения приращений координат вносятся поправки σ_x и σ_y ($\sigma_x = \frac{d}{P} \cdot f_x$, $\sigma_y = \frac{d}{P} \cdot f_y$). Суммы поправок равны невязкам и вносятся с обратным знаком (таблица 3).

После этого находим координаты всех точек теодолитного хода, прибавляя к исходной координате значения приращений координат с учетом их знака.

Таблица 3. Результаты расчетов приращения координат

Обозначение линии	Вычисленные приращения координат		Поправки в приращении координат		Исправленные приращения координат	
	$\pm\Delta X_b$	$\pm\Delta Y_b$	$\pm x$	$\pm y$	$\pm\Delta X_{vp}$	$\pm\Delta Y_{vp}$
I-II	9.99	-73.73	0.007	0.005	9.997	-73.725
II-III	-60.20	-14.82	0.006	0.004	-60.194	-14.816
III-IV	-15.21	21.82	0.003	0.002	-15.207	21.822
IV-V	-11.66	48.83	0.005	0.004	-11.655	48.834
V-VI	-1.28	78.38	0.008	0.006	-1.272	78.386
VI-VII	53.28	-1.29	0.005	0.004	53.285	-1.286
VII-I	25.04	-59.22	0.006	0.005	25.046	-59.215
	$\sum+88.31$	$+149.03$			$\sum+88.328$	$+149.042$
	$\sum-88.35$	-149.06			$\sum-88.328$	-149.042
	$f_x=-0.04$	$f_y=-0.03$				

$$X_{II} = X_I + \Delta X_{I-II} = 600 + 9.997 = 609.997$$

$$X_{III} = X_{II} + \Delta X_{II-III} = 609.997 + (-60.194) = 549.803$$

$$X_{IV} = X_{III} + \Delta X_{III-IV} = 549.803 + (-15.207) = 534.596$$

$$X_V = X_{IV} + \Delta X_{IV-V} = 534.596 + (-11.655) = 522.941$$

$$X_{VI} = X_V + \Delta X_{V-VI} = 522.941 + (-1.272) = 521.669$$

$$X_{VII} = X_{VI} + \Delta X_{VI-VII} = 521.669 + 53.285 = 574.954$$

$$\mathbf{X_I = X_{VII} + \Delta X_{VII-I} = 574.954 + 25.046 = 600}$$

$$Y_{II} = Y_I + \Delta Y_{I-II} = 600 + (-73.725) = 526.275$$

$$Y_{III} = Y_{II} + \Delta Y_{II-III} = 526.275 + (-14.816) = 511.459$$

$$Y_{IV} = Y_{III} + \Delta Y_{III-IV} = 511.459 + 21.822 = 533.281$$

$$Y_V = Y_{IV} + \Delta Y_{IV-V} = 533.281 + 48.834 = 582.115$$

$$Y_{VI} = Y_V + \Delta Y_{V-VI} = 582.115 + 78.386 = 660.501$$

$$Y_{VII} = Y_{VI} + \Delta Y_{VI-VII} = 660.501 + (-1.286) = 659.215$$

$$\mathbf{Y_I = Y_{VII} + \Delta Y_{VII-I} = 659.215 + (-59.215) = 600}$$

Так как полученные значения координат первой точки совпадают с исходными, то координаты точек полигона рассчитаны правильно.

Итак, при расчёте ведомости вычисления координат теодолитного хода использовались различные приёмы определения погрешностей измерений, оценки точности результатов измерений, уменьшения и устранения погрешностей измерений. Это нахождение вероятнейшего значения с помощью среднего арифметического, нахождение среднеквадратической погрешности, нахождение относительной погрешности, оценка точности функций измеренных величин. Таким образом, можно утверждать, что теория погрешностей имеет большое применение при осуществлении геодезических работ.

Литература:

1. Быкова, Ю.С., Гафарова Д.З., Снежкина О.В. Прикладная математика в задачах геодезии // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/12/42283>

Использование дисперсных наполнителей для создания композиционных материалов на основе полимерной матрицы

Ивановский Сергей Константинович, студент;

Мельниченко Максим Андреевич, студент

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (Челябинская область)

В настоящее время наблюдается устойчивый рост промышленного производства, что сопровождается увеличением количества твердых бытовых и промышленных отходов. Самым эффективным способом утилизации отходов полимерных материалов является их вторичная переработка и получение различных продуктов или композитов [2, 9, 10].

Композиционные материалы (композиты) (от лат. *compositio* — составление) — многокомпонентные материалы, состоящие из двух или более компонентов, количественное соотношение которых должно быть сопоставимым. Компоненты существенно отличаются по свойствам, а их сочетание должно давать некий синергический эффект, который трудно предусмотреть заранее [8].

Наполненные полимеры представляют собой коллоидные дисперсные системы. Свойства этих систем определяются природой наполнителя, полимерной матрицы, а также процессами взаимодействия на границе раздела полимер — наполнитель.

Широкий выбор и практически неограниченные ресурсы легкодоступных и относительно дешевых дисперсных минеральных наполнителей (тальк, мел и другие) обеспечивают им высокую конкурентоспособность в мировом промышленном производстве полимерных композитов [7].

Дисперсные наполнители — наиболее распространенный вид наполнителей полимерных композиционных материалов, в качестве которых выступают самые разнообразные вещества органической и неорганической природы. Твердые *наполнители* могут быть минеральными (тальк, мел и другие), органическими (волокна), керамическими и металлическими.

Хронологически первыми наполнителями полимерных композиционных материалов были дисперсные наполнители — в пресс-материалах на основе фенолформальдегидных олигомеров использовалась древесная мука. Обычно размер частиц не превышает 40 мкм, однако в последнее время при создании нанокompозитов используются частицы размером менее 1 мкм.

Для улучшения смачивания наполнителя полимером, улучшения адгезии, снижения склонности частиц к агломерации поверхность порошкообразных наполнителей часто обрабатывают поверхностно-активными веществами. Улучшению адгезии на поверхности раздела «наполнитель-полимер» могут способствовать также реакционно-способные функциональные группы, имеющиеся в наполнителе или специально сформированные.

Рассмотрим некоторые наиболее распространенные виды минеральных наполнителей [6].

Карбонат кальция (мел, CaCO_3) — один из наиболее дешевых и распространенных видов дисперсных наполнителей. Основным источником — природный известняк подвергнутый измельчению, флотации для удаления примесей и фракционированию с получением частиц размерами 1–10 мкм. Получается также путем осаждения в процессах получения карбоната и гидроксида натрия (размер частиц от 0,03 мкм — до 10 мкм с малым разбросом по размерам). К преимуществам этого наполнителя относится белый цвет, низкая твердость, широкий интервал возможного размера частиц, стабильность свойств в широком интервале температур. Для улучшения реологических свойств и смачивания поверхность мела часто обрабатывают стеариновой кислотой, стеаратом кальция или аппретами. Что способствует также лучшему распределению частиц мела в матрице полимера. В качестве наполнителя находит широкое применение в материалах на основе ПВХ (в жести и пластифицированных рецептурах), полипропилена, полистирола и его сополимеров, в полиэфирных стеклопластиках (премиксы, препреги).

Каолин (белая глина — гидратированный силикат алюминия) получается из минерала каолинита путем его измельчения. Используется двух видов — очищенный и прокаленный, у которого удалена гидратационная вода. Частицы каолина имеют структуру пластинчатых чешуек, отличаются высокой степенью белизны они плохо диспергируются в большинстве полимеров. Из-за большой величины площади поверхности введение каолина способствует значительному повышению вязкости. Для повышения способности к диспергированию и достижения максимального упрочняющего эффекта поверхность частиц обрабатывают модифицирующими агентами (например, ПАВ). Каолин применяется при наполнении термопластов для придания повышенных значений модуля упругости при растяжении, а также для улучшения электрических свойств; в производстве армированных волоконными пластиками на полиэфирных связующих для повышения вязкости (размер частиц менее 40 мкм), а также для повышения объемного электрического сопротивления и водостойкости (прокаленный каолин, связующее — фенолформальдегидный олигомер).

Тальк (гидратированный силикат магния) получается из ряда природных пород путем обогащения, дробления, измельчения (тонкого помола) и фракционирования. Представляет собой тонкоизмельченный порошок белого цвета с пластинчатыми частицами различного раз-

мера (от 10 мкм до 70 мкм). Благодаря пластинчатой форме частиц тальк придает наполненным материалам повышенную жесткость — при одинаковой степени наполнения (40 %) тальк увеличивает жесткость полипропилена в 3 раза, а мел — в 2 раза. Применение талька при правильном подборе дисперсного состава, поверхностной обработки позволяет избежать характерной для наполнения дисперсными частицами снижения стойкости к ударным нагрузкам. Низкая твердость (1 по шкале Мооса) снижает абразивный износ при переработке тальконаполненных термопластов. Наиболее широко применяется в качестве наполнителя термопластов, в первую очередь полипропилена (автомобилестроение, приборостроение). Получение материала осуществляется смешением в расплаве, с использованием смесителей тяжелого типа.

На кафедре химии были получены композиционные материалы с выше названными наполнителями и в настоящее время проводятся исследования их эксплуатационных свойств [3, 5, 11].

Плавленный кварц — аморфный стеклообразный диоксид кремния, получаемый путем измельчения расплавленного в дуговых печах кварцевого песка. Как правило, имеет довольно широкий гранулометрический состав. Характеризуется более низкой плотностью и малым термическим коэффициентом линейного расширения.

Используется при получении материалов, стойких к тепловым ударам, обладающих повышенной стабильностью размеров и высокими прочностными показателями.

Полевой шпат и нефелин — близкие по составу безводные алюмосиликаты, получаемые из минерального сырья. Производятся в виде порошков крупной или средней дисперсности (средний размер частиц 5–15 мкм). Благодаря относительно низкой удельной поверхности (1,0–2,5 м²/г), хорошей смачиваемости и диспергируемости в большинстве полимеров они обеспечивают низкую вязкость наполненных композиций даже при высоких степенях наполнения. Близкие значения их показателя преломления к его значению у большинства полимеров (1.53) позволяет получать прозрачные или полупрозрачные изделия.

К числу наиболее распространенных порошкообразных наполнителей органического происхождения относится древесная мука и углеродные материалы (сажа, графит, кокс) [4].

Древесная мука. Порошкообразная древесина получается путем измельчения на мельницах отходов обработки древесины (опилки, стружки, щепа и т.д.). Древесина состоит из целлюлозы, лигнина и некоторого количества

природных смол (в зависимости от породы дерева). В качестве наполнителя пластмасс используется мука с размером частиц от 40–50 до 300 мкм. Мука из древесины лиственных пород имеет более низкие тепло-, влаго- и химостойкость. Наиболее широко применяется в производстве фенольных и мочевино-формальдегидных пресс-материалов общего назначения. За рубежом находят также применение мука из скорлупы орехов — миндаля, грецкого, лесного, кокосового, арахисового и др. Эта мука позволяет получать материалы с более высокими твердостью, влагостойкостью и электроизоляционными свойствами.

В зависимости от технологии производства и наполнения полимеры могут характеризоваться различными свойствами, влияющими в итоге на эффективность наполненных материалов и их качество. Поэтому к наполнителю предъявляются требования исходя из того, какие свойства материала желательно получить в разрабатываемом изделии.

Требования к свойствам композиционных материалов предъявляют в зависимости от назначения изделия. В одних случаях требуются высокие физико-механические характеристики, в других — повышенные теплоизоляционные свойства [8].

К числу общих требований, предъявляемых к дисперсным наполнителям относятся [1, 8]: способность совмещаться с полимером или диспергироваться в нем с образованием однородной композиции; хорошая смачиваемость расплавом или раствором полимера (наполнитель должен иметь шероховатую поверхность, что обеспечит лучшее сцепление наполнителя с полимером); отсутствие склонности к агломерации частиц; однородность их размера, а также низкая влажность (как правило, необходима сушка); стабильность свойств при хранении, переработке и эксплуатации материалов; наполнители не должны растворяться в пластификаторах, разлагаться при температуре переработки полимера и выделять летучие продукты; отсутствие веществ, катализирующих разложение полимера; отсутствие склонности к изменению окраски в процессе переработки; низкая стоимость; химическая и термическая стойкость; нетоксичность.

Таким образом, применяя в качестве наполнителей различные вещества, появляется возможность создания новых композиционных материалов с различными эксплуатационными свойствами, что позволит расширить области применения этих материалов и решать проблему утилизации полимерных отходов.

Литература:

1. Басов, Н. И., Любартович, С. А., Любартович, В. А. Контроль качества полимерных материалов [Текст]/Под ред. В. А. Брагинского. — Л.: Химия, 1990. — 112 с.
2. Ершова, О. В., Чупрова Л. В. Получение композиционного материала на основе вторичного поливинилхлорида и техногенных минеральных отходов// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 5–1. — с. 9–12.

3. Ершова, О. В., Муллина Э. Р., Чупрова Л. В., Мишурина О. А., Бодьян Л. А. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12–3. с. 487–491.
4. Ершова, О. В., Ивановский С. К., Чупрова Л. В., Бахаева А. Н. Минеральные техногенные отходы как наполнитель композиционных материалов на основе полимерной матрицы // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2015. — № 6–2. — с. 196–199.
5. Ивановский, С. К., Гукова В. А., Ершова О. В. Исследование свойств вспененных композитов на основе вторичных полиолефинов и золы уноса // В сборнике: *Тенденции формирования науки нового времени Сборник статей Международной научно-практической конференции: В 4 частях*. отв. редактор А. А. Сукиасян. г. Уфа, республика Башкортостан, 2014. с. 18–24.
6. Кербер, М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / Под ред. А. А. Берлина. — СПб.: Профессия, 2008. — 560 с.
7. Осипов, П. О. Проблемы утилизации и переработки полимеров [Электронный ресурс]: Pakkermash, 2008. — Режим доступа: <http://www.pakkermash.ru/>
8. Пахаренко, В. А., Зверлин, В. Г., Кириенко, Е. М. Наполненные термопласты [Текст]: Справочник / под ред. Липатова Ю. С. — К.: Техника, 1986—182 с.
9. Чупрова, Л. В., Муллина Э. Р. Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтилен-терефталата (ПЭТ) // *Молодой учёный*. — 2013. — № 5. — с. 123–125.
10. Чупрова, Л. В., Муллина Э. Р., Мишурина О. В., Ершова О. В. Исследование возможности получения композиционных материалов на основе вторичных полимеров // *Современные проблемы науки и образования*. — 2014. — № 4. — с. 212; URL: www.science-education.ru/118-14200 (дата обращения: 14.04.2015).
11. Gukova, V. A., Ershova O. V. The development of composite materials based on recycled polypropylene and industrial mineral wastes and study their operational properties // В сборнике: *European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences Vienna*, 2014. с. 144–151.

Анализ возможности реализации систем поддержки принятия решений с применением облачных технологий

Кузнецова Анна Сергеевна, лаборант;

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;

Султанов Рузиль Фаильевич, аспирант;

Клементьева Наталья Викторовна, лаборант

Уфимский государственный авиационный технический университет

Разработка любого сложного объекта, по своей сути, является постоянным выбором определенных решений, которые тянут за собой определенные последствия, причем стоимость ошибочного выбора с каждым этапом проектирования растет лавинообразно. Если вы занимаетесь проектированием авиационного двигателя для конкретного летательного аппарата исходя из условий его работы, то выбор наиболее подходящей конструкции двигателя потребует значительных временных и денежных затрат, а при использовании экспертных систем большого массива данных.

Таким образом, потребность принятия решений быстро и качественно привела к созданию систем поддержки принятия решений (англ. Decision Support System) — компьютерных автоматизированных систем, предназначенных

для помощи людям, принимающих решения в сложных условиях. В таких системах решения принимаются с учетом не одного показателя (критерия), а совокупности сразу нескольких критериев одновременно. Причем система должна анализировать очень большой объем данных, настолько большой, что его невозможно будет проанализировать без использования современной вычислительной техники. В таких условиях число вариантов возможных решений будет слишком велико и, следовательно, принятие решений без проведения тщательных расчетов и анализа недопустимо. А разработка и учет «весовых» коэффициентов каждого параметра превращается в нетривиальную задачу.

Для анализа информации и выборки возможных альтернатив СППР используют различные методы обработки

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта МК 4746.2014.8.

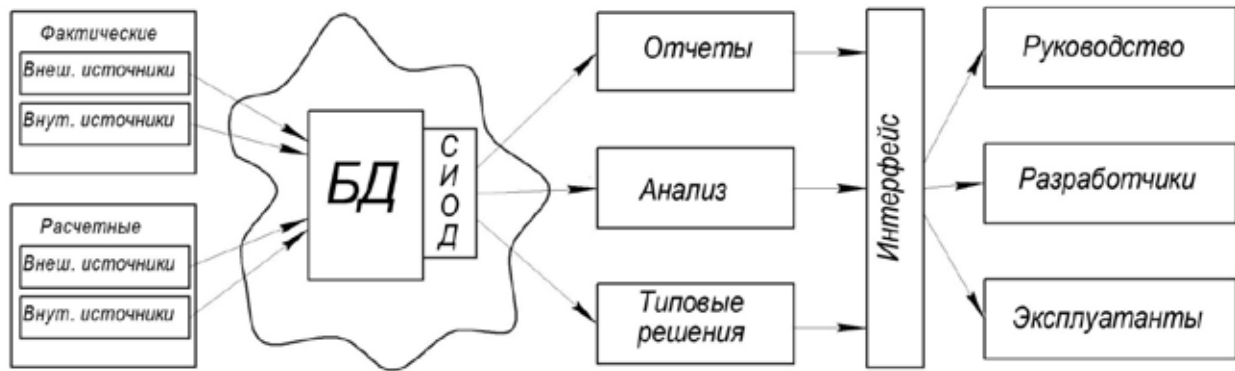


Рис. 1. Структура связей компонентов СППР

информации, например, поиск знаний в базах данных, имитационное моделирование, нейронные сети, интеллектуальный анализ данных, ситуационный анализ и многие другие.

По своей структуре в СППР выделяют ряд основных компонентов: внешние и внутренние источники информации (фактической и расчетной), многомерное и мультиформатное информационное хранилище данных, методы извлечения/загрузки/обработки данных (ETL), средства анализа данных (OLAP) или система интеллектуальной обработки данных (СИОД), средства интеллектуального анализа данных (Data Mining), средства формирования отчетов и представления информации, информационная среда взаимодействия с конечными пользователями.

В области авиационного машиностроения на данный момент современные авиационные двигатели в своем развитии достигли крайне высокого уровня сложности. Общее количество параметров и признаков, учитываемых при проектировании, сильно возросло. Задачи по моделированию и согласованию моделей между собой все усложняются и увеличиваются в объеме. Используемая технология проектирования в связи с этим практически достигла своего предела. При этом требования к эффективности рабочего процесса, к его экологичности, надежности и используемому ресурсу все сильнее ужесточаются. А проблема безопасности в авиации актуальна для всего мира. Любые аварии в области авиации причиняют значительный материальный ущерб авиакомпаниям, а также способны отрицательно повлиять на репутацию авиалинии. В свою очередь большинство из этих вопросов зависят от правильного выбора типа и размерности двигателя для летательного аппарата исходя из его зоны применения, что подталкивает разработчиков доверять часть функций выбора СППР, как одному из путей развития компьютерных технологий проектирования.

Однако за последние годы объем обрабатываемых данных системами поддержки принятия решений сильно увеличился. Этот информационный объем продолжает непрерывно расти и в настоящее время. При этом было выявлено, что большое количество данных, принадлежащее, например, одной компании, может храниться в различных

хранилищах. Часто также эти же данные хранят не совсем в удобном формате баз данных. А если еще отметить, что вся имеющаяся информация часто и регулярно обновляется, то очевидной становится проблема хранения и структурирования обрабатываемых данных. Кстати сказать, такие крупные и разнородные данные, которые хранятся в разных источниках, плохо структурированы и часто подлежат обновлению, назвали большими данными (англ. Big data).

Сейчас наиболее эффективно решать вышеописанные проблемы способны недавно появившиеся на рынке IT облачные технологии, обладающие рядом преимуществ. Использование облачных вычислений выгодно потому, что позволяет сэкономить на лицензиях, интеграции со сторонними системами принятия решений, стоимости IT-оборудования и обслуживании. Компаниям, пользователям не нужно тратить на дорогостоящее программное обеспечение, при использовании облачных технологий оно предоставляется в аренду, как услуга. При использовании того или иного облачного сервиса нет необходимости беспокоиться о его обслуживании. Поскольку сервис предоставляется как услуга, провайдер сам заботится о целостности данных, работоспособности оборудования, эффективности работы, а также гарантирует минимальное время обработки данных. В этом плане использование облачных технологий очень выгодно компаниям и крупным государственным учреждениям, для которых важно, чтобы управление процессами принятия решений осуществлялся надежно, быстро и безопасно.

Что означает сам термин «облако»? Вообще облако (cloud) или облачные вычисления (cloud computing) можно назвать моделью, предоставляющей повсеместный дистанционный доступ к территориально распределенным вычислительным информационным ресурсам таким, как сервера, сети, сервисы, устройства хранения и другие.

Облачные вычисления обладают следующими видами характеристик, которые отличают их от всех других видов вычислений:

— Самообслуживание по требованию. Пользователь по своему усмотрению может самостоятельно определять вычислительные мощности и изменять их. Например, по-

ребитель может сам задавать объем хранилища, в котором содержатся данные.

— Универсальный сетевой доступ. Доступ к необходимым данным может осуществляться практически повсеместно с использованием привычных механизмов и устройств.

— Объединение ресурсов. Все вычислительные ресурсы, предоставляемые поставщиком, объединяют в единый так называемый пул для совместного использования многими пользователями.

— Мгновенная масштабируемость. Вычислительные возможности по требованию потребителя могут мгновенно предоставляться в любом количестве, резервироваться, а также расширяться.

— Измеримая услуга. Использование облачных ресурсов автоматически измеряется, контролируется и оптимизируется посредством учета некоторых абстрактных параметров. В качестве такого параметра может, к примеру, выступать размер хранилища или же вычислительная мощность, а также другие параметры.

Если концепция предоставления распределенных вычислительных ресурсов соответствует вышеперечисленным характеристикам, то это будет модель облачных вычислений.

Различают также три сервисных модели облачных вычислений:

1. Software as a Service (SaaS) — программное обеспечение как услуга. Это означает, что пользователь имеет возможность использовать приложение от поставщика на облачной инфраструктуре. Доступ к приложению будет осуществляться через различные клиентские устройства, например, через веб-браузер. При этом потребитель не сможет изменять саму инфраструктуру облака, исключение лишь составляют различные пользовательские настройки, имеющиеся в приложении.

2. Platform as a Service (PaaS) — платформа как услуга. В этой модели потребитель получает в использование программную платформу. В нее входят операционные системы, прикладное программное обеспечение, средства разработки и тестирования программного обеспечения, а также СУБД. Пользователь также не может управлять основной облачной инфраструктурой, но у него есть возможность управлять приложениями.

3. Infrastructure as a Service (IaaS) — инфраструктура как услуга. На этом уровне потребитель может управлять фундаментальными вычислительными мощностями, такими как виртуальные сервера, сетевая инфраструктура и другие. Он может устанавливать на них операционные системы, прикладные программы. Однако, потребитель все равно не управляет основной инфраструктурой облака.

Помимо сервисных моделей облачные вычисления разграничивают также и на модели развертывания: частное облако (Private cloud), облако сообщества (Community cloud), публичное облако (Public cloud), гибридное облако (Hybrid cloud).

При построении систем на основе облачных вычислений реализуются два основных принципа: во время взаимодействия пользователя с системой информация должна храниться в сессиях в минимальном количестве и при необходимости удаляться оттуда, иначе говоря, серверы не должны хранить состояния, также система должна иметь наименьшее количество общих потенциальных точек отказа. Последний принцип реализуют с помощью сервисно-ориентированной архитектуры информационной системы. В данном типе архитектуры сервисы являются неотъемлемой частью информационной системы, и каждый из них выполняет свою конкретную бизнес-функцию, являющуюся составной частью бизнес-процесса. При этом сервисы могут быть реализованы независимо друг от друга, то есть имеют низкую связанность между собой. При использовании сервисно-ориентированной архитектуры наряду с умеренным горизонтальным масштабированием и использованием возможности отложенного выполнения задач можно достичь максимальной производительности работы системы. Горизонтальное масштабирование здесь предполагает увеличение общей производительности системы за счет параллельного обслуживания с нескольких узлов, процессоров, серверов.

Говоря об архитектуре промышленных распределенных систем поддержки принятия решений, размещаемых на облачных серверах, то чаще всего она является трехзвенной. Первое звено — это клиентское приложение, с помощью которого пользователь работает с системой. Как правило, в качестве такого приложения выступает обычный интернет-браузер или мобильное приложение, что не требует установки специального ресурсотребовательного ПО. Вторым звеном является так называемый «Front-end» сервер, занимающийся обработкой огромного потока заявок и ставящий их в очередь к третьему звену архитектуры — «Back-end» серверу. Он хранит данные промышленной системы и реализует ее логику.

Перейдем снова к теме авиационных двигателей. Как уже было выявлено выше, использование СППР в управлении процессом проектирования авиационных двигателей заметно улучшит эффективность работ, а также повысит надежность производственного процесса. Особенно этот эффект будет заметен при использовании СППР наряду с облачными технологиями. Объем обрабатываемых данных в процессе проектирования слишком велик, чтобы с ним могла справиться система сама по себе. Зато при использовании вычислительных возможностей облака проблема нехватки ресурсов решается достаточно легко. При этом возрастает и скорость обработки данных. Таким образом, система поддержки принятия решений и облачные вычисления отлично взаимодействуют друг с другом, одновременно устраняя недостатки самой СППР. Использование таких систем — хорошая возможность повысить эффективность и надежность производства, путем надежного и оперативного анализа предыду-

шего опыта проектирования и эксплуатации самолетов с учетом действующих норм летной годности, рекомендаций, предложений и возможностей производства. Например, система в автоматическом режиме сможет исходя

из рекомендаций и требований предложить основные потребные параметры силовой установки и предложить вариант из находящихся в производстве двигателей и двигателей.

Литература:

1. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей // Учебник под ред. Ахмедзянова А. М. М.: Машиностроение, 2000. 454 с.

Вторичное молочное и зернобобовое сырье в производстве хлебных изделий

Кылычбекова Наргиля Курмангалиевна, кандидат технических наук, главный технолог
ОсОО «Аква Лайф Групп» (г. Бишкек, Кыргызская Республика)

Молочная сыворотка или как называл ее академик Н.Н. Липатов молочнобелковое лактозосодержащее сырье — полезный и ценный молочный продукт, укрепляющий иммунную систему человеческого организма. Сывороточные белковые фракции способствуют восстановлению тканей, поддерживают нормальное функционирование желудочно-кишечного тракта, помогают организму бороться с патогенной микрофлорой и выводить токсины [1]. Использование молочной сыворотки в производстве хлебных изделий улучшает цвет и аромат готового хлеба, увеличивается его пористость и удельный объем, они медленно черствеют [2]. Рентабельность продуктов на основе сыворотки очевидна, поскольку количество молочного сырья в них составляет максимум 50%. Анализ белкового, углеводного и липидного комплексов свидетельствует о высокой ценности молочной сыворотки как пищевого сырья, промышленная переработка которого необычайно перспективна и экономически целесообразна [3]. Поэтому целью дальнейшего исследования явилось изучение возможности использования молочной сыворотки в производстве пшенично-фасолевого (композитного) хлеба.

Для проведения экспериментальных исследований использовали сыворотку творожную и мучной композит, в состав которого вошли мука пшеничная первого сорта и фаселевая мука — смесь сортов белой и цветной пестрой фасоли, доля которой составила 12% от массы муки пшеничной.

Для установления оптимальной дозировки сыворотки творожной провели лабораторную выпечку композитного хлеба на сыворотке, которая показала, что полная замена воды сывороткой при замесе теста из мучного композита отрицательно сказалась на органолептических показателях выпеченного из такого теста образца хлеба. В исследуемом образце отмечено снижение подъема на 5,9%, присутствие неприятного запаха и привкуса горечи, а также ухудшение структуры мякиша и появление в нем желтоватого оттенка. Таким образом установлено,

что 100%-ная замена воды сывороткой при приготовлении пшенично-фасолевого хлеба невозможна вследствие ухудшения органолептических показателей. В связи с чем необходимо снизить дозировку сыворотки. При производстве хлебных изделий рекомендуют применять сыворотку творожную в количестве до 20–30% к массе муки [4]. Нами сделана попытка увеличить дозу вносимой сыворотки в пшенично-фаселевый хлеб до 50% к массе муки, что составляет 80%-ную замену воды, затрачиваемую на замес теста.

Органолептическая оценка полученного образца хлеба показала, что частичная замена воды на сыворотку привела к увеличению подъема исследуемого образца на 5,9%, цвет мякиша приобрел желтоватый оттенок, а аромат и вкусовые свойства стали ярче выраженными. Анализ результатов органолептической оценки показал возможность применения сыворотки творожной дозой 50% к массе муки при производстве композитного хлеба.

Введение в рецептуру каких-либо добавок, в частности сыворотки, несомненно, приведет к изменению хлебопекарных свойств смеси из-за изменения ее химического состава. Хлебопекарные свойства муки определяются силой муки — способностью образовывать тесто с определенными реологическими свойствами. Силу муки характеризуют следующие показатели: количество и качество клейковины; ее влагоемкость; гидратационная способность и показатель K_{60} (показатель, характеризующий силу муки по консистенции теста).

Проведенные исследования показали, что внесение сыворотки в пшенично-фаселевое тесто снижает выход сырой клейковины на 1,17%, увеличивает ее влажность на 0,2% и гидратационную способность на 1,8%, при этом растяжимость и эластичность остаются аналогичными контрольному образцу (пшенично-фаселевое тесто без внесения сыворотки). С внесением сыворотки значение показателя K_0 , снятое сразу после замеса исследуемого образца, повышается на 48,8 ед. пенетрации, следовательно сыворотка разжижает пшенично-фаселевое тесто.

Причина заключается во внесении белковых обогатителей, превышающих дозировку 3–5% от общей массы муки, за счет технологической несовместимости белков сырья различного происхождения, проявляющейся сильнее, чем больше разновидность белков и продолжительней контакт различных белков друг с другом. Но уже через час значения показателей K_{60} исследуемого и контрольного образца отличаются не столь значительно. Возможной причиной является то, что сыворотка обладает окислительным действием. При действии окислителя на -SH-группы, они окисляются с образованием дисульфидных -S-S-связей, которые упрочняют внутримолекулярную структуру белка, тем самым делая ее более упругой и жесткой.

Анализируя полученные результаты, можно констатировать, что внесение сыворотки снижает выход сырой клейковины пшенично-фасолевого теста, вследствие частичной пептизации белков молочной кислотой, содержащейся в самой сыворотке. Известно, что чем выше кислотность и больше количество сыворотки, тем больше снижается гидратация клейковины пшеничной муки. Вследствие этого ухудшаются физические свойства пшеничного теста — оно разжижается, снижается его вязкость и газодерживающая

способность [2]. Наши исследования показывают, что с добавлением сыворотки влагоемкость и гидратационная способность мучного композита увеличиваются, тем самым улучшая его хлебопекарные свойства.

Созревание пшенично-фасолевого теста происходит за счет протекания физических, биохимических, микробиологических и коллоидных процессов, необходимых для приведения его в состояние, оптимальное для выпечки хлеба. Результаты исследования влияния сыворотки творожной на показатель подъемной силы приведены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что в течение всех трех часов брожения улучшение подъемной силы происходит как в контрольном, так и в исследуемом образце, вследствие нарастания процесса брожения. Но в исследуемом образце значения показателей лучше, чем в контрольном, за счет внесения вместе с сывороткой дополнительных аминокислот, минеральных соединений и витаминов, необходимых для питания дрожжей, вследствие чего повышается их бродильная активность.

Изменение титруемой кислотности в процессе брожения образцов теста приведено на рис. 2.

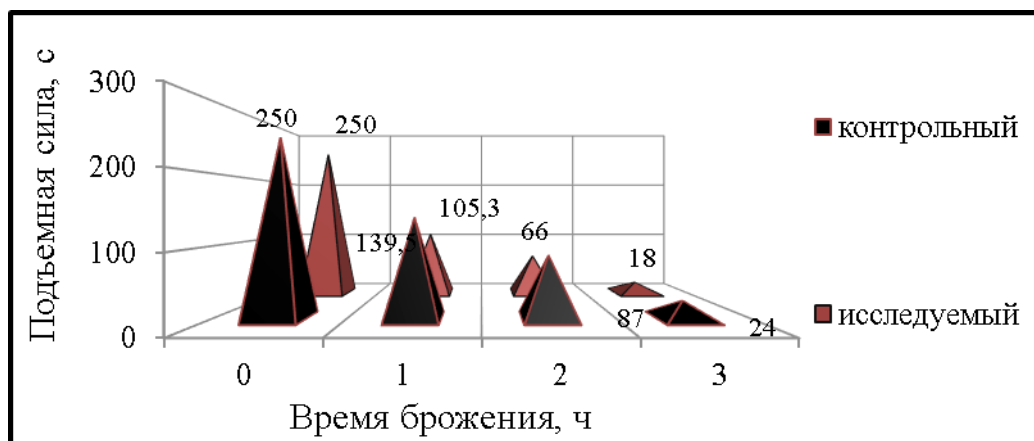


Рис. 1. Показатели подъемной силы образцов теста

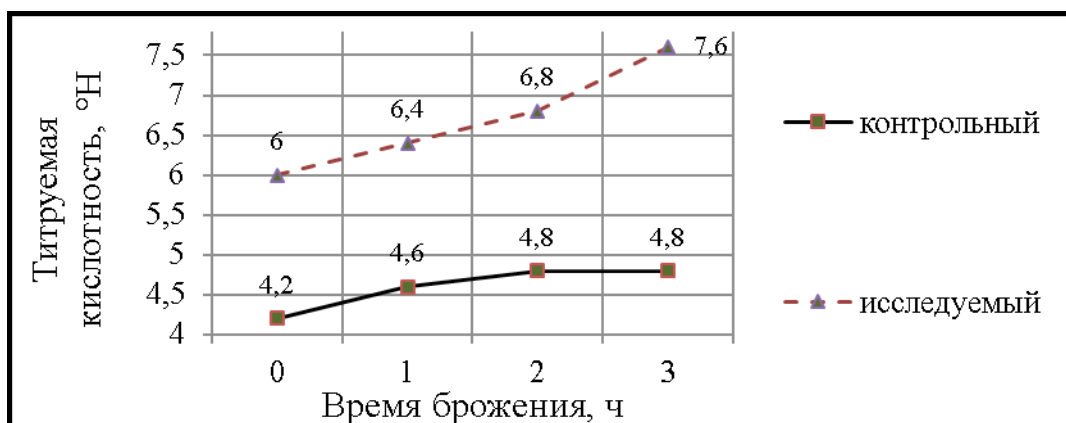


Рис. 2. Изменение титруемой кислотности в процессе брожения образцов теста

Графические данные (рис. 2) свидетельствуют о том, что сыворотка, имеющая кислотность 65°Т, повышает титруемую кислотность исследуемого образца сразу после замеса. Дальнейшее повышение показателя происходит вследствие накопления конечных продуктов бурной жизнедеятельности дрожжей и молочнокислых бактерий.

Измерение активной кислотности в течение трех часов брожения проводили с помощью рН-метра. Полученные результаты представлены на рис. 3.

Как видно на рис. 3, в начале процесса брожения оба образца имели одно значение рН=7. В течение трех часов брожения изменения показателей в обоих образцах аналогичны друг другу, за исключением того, что в исследуемом образце значение рН среды ближе к нейтральному по сравнению с контрольным. Видимо, в фасолевой муке присутствуют соединения, способные диссоциировать в данных условиях с образованием ионов водорода. Возможно внесение сыворотки усиливает эту способность.

Показатель, характеризующий процесс черствения, является одним из важных показателей качества хлеба. Известно, что применение сыворотки в хлебопечении удлиняет срок хранения пшеничного хлеба, вследствие содержания в ней большого количества органических кислот, что приводит к повышению кислотности готовых

изделий и замедлению протекания процесса черствения в них [5]. В связи с этим нами изучено влияние сыворотки на процесс черствения композитного хлеба по показателю степени черствения мякиша. Результаты представлены на рис. 4.

На рис. 4 видно, что в течение всего процесса хранения глубина внедрения рабочей

иглы в контрольный образец меньше, чем в исследуемый, из чего следует, что мякиш исследуемого образца дольше сохраняет свежесть, чем мякиш контрольного.

Анализ результатов оценки качественных показателей показал, что применение сыворотки творожной в производстве композитного хлеба улучшает его вкусовые свойства. Лактоза сыворотки не сбраживается дрожжами, и к моменту выпечки сохраняется, вступая в окислительно-восстановительные реакции, при которых образуются темноокрашенные и ароматообразующие вещества. Кроме этого содержание в сыворотке молочного жира также приводит к повышению в композитном хлебе количества ароматических веществ, вследствие чего исследуемый образец приобретает вкус и аромат, характерные для изделий, хрустящую корочку и желтоватый оттенок мякиша. Снижение показателей удельного объема и пористости соответственно на 6,8% и 1,5% проис-

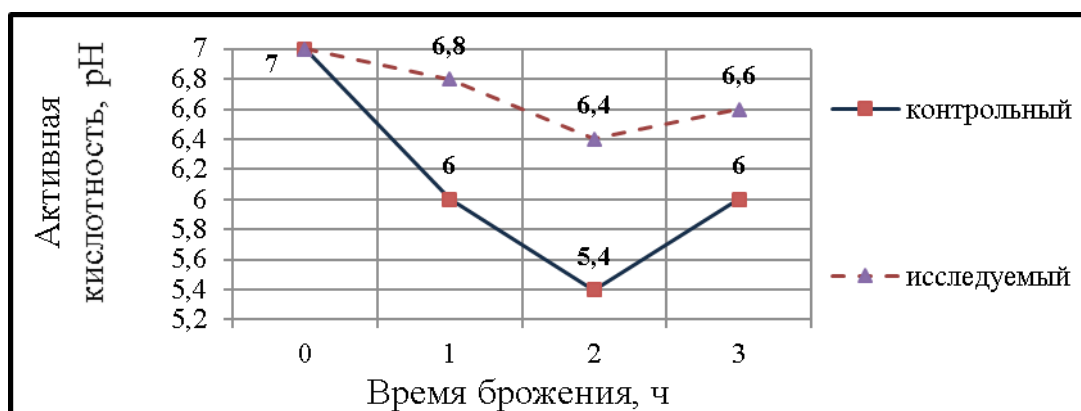


Рис. 3. Активная кислотность исследуемого образца теста

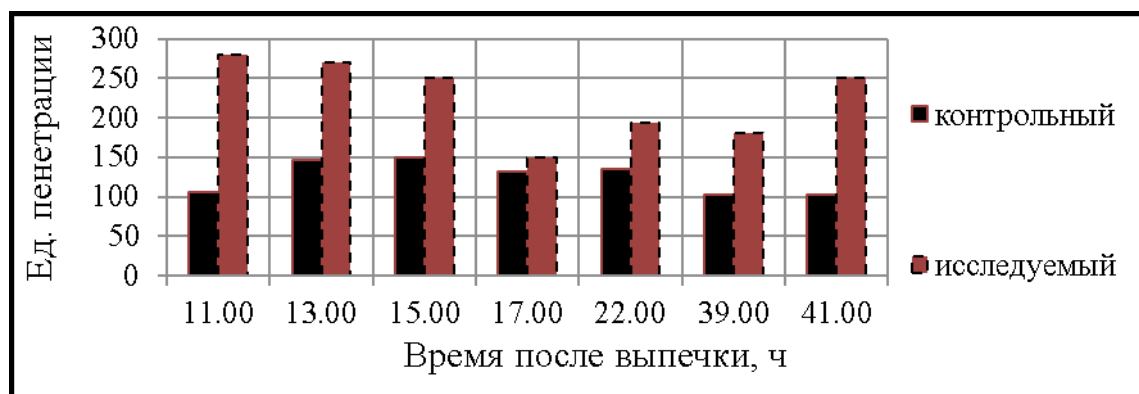


Рис. 4. Процесс черствения мякиша образцов хлеба

ходит вследствие содержания в композитном хлебе сывороточных белков, которые вызывают депрессию объема теста. Повышение кислотности в исследуемом образце происходит за счет содержания в сыворотке большого количества молочной и ряда других органических кислот. Но полученный образец хлеба не имеет кислого вкуса, как следовало ожидать, при показателе титруемой кислотности 8 °Н, так как значение рН близко к нейтральному. Увеличение влажности исследуемого образца происходит за счет увеличения гидратационной способности клейковины композитной муки благодаря добавлению сыворотки. С внесением сыворотки мякиш исследуемого образца сохраняет свежесть до 41 ч, что обусловлено повышением его влажности и кислотности.

При этом установлено, что композитный хлеб на сыворотке имеет более высокие показатели удельного объема и пористости в сравнении с пшеничным хлебом формовым. Применение мучного композита в сочетании с сывороткой увеличивает показатели удельного объема и пористости пшеничного хлеба на 25,7% и 6,3% соответственно. Увеличение срока хранения с 8–10 ч в пшеничном до 41 ч в композитном хлебе на сыворотке подтверждается результатами микробиологических испытаний, проведенных испытательной лабораторией БЦИСМ при ЦСМ при МЭ КР

по санитарно-гигиеническим показателям в соответствии с Техническим регламентом «О безопасности хлеба, хлебобулочных и макаронных изделий», утвержденным постановлением Правительства КР от 17 июля 2012 г. № 502.

В выпеченном образце хлеба, как и в пшеничном, были определены массовая доля белка, общих сахаров, жиров, золы и пищевых волокон. Из полученных результатов следует, что внесение сыворотки улучшает пищевую ценность целевого продукта (повышение массовой доли белка на 34,9%, общих сахаров — на 29,2%, золы — на 26,2%, жиров — на 24,2%) и придает ему функциональные свойства (увеличение содержания пищевых волокон в 2,4 раза). В испытательной лаборатории пищевой и сельскохозяйственной продукции БЦИСМ при ЦСМ при МЭ КР в соответствии с требованиями Технического регламента «О безопасности хлеба, хлебобулочных и макаронных изделий» определены показатели безопасности композитного хлеба на сыворотке. Результаты исследования показывают, что композитный хлеб на сыворотке соответствует требованиям, предъявляемым Техническим регламентом «О безопасности хлеба, хлебобулочных и макаронных изделий», из чего следует, что полученный продукт можно рекомендовать в качестве профилактического питания для широких слоев населения.

Литература:

1. Григорьева, Р.З. Товароведение продовольственных товаров [Текст]/Р.З. Григорьева. — Кемерово, 2004. — 178 с.
2. Зверева, Л.Ф. Технология и теххимический контроль хлебопекарного производства [Текст]: Учебник/Л.Ф. Зверева, З.С. Немцова и др. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. — 416 с.
3. Храмцов, А.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки [Текст]: Учебное пособие для вузов/А.Г. Храмцов, П.Г. Нестеренко. — М.: ДеЛипринт 2003. — 769 с.
4. Технологические рекомендации по применению молочной сыворотки и сывороточных концентратов в хлебопекарной промышленности // Сайт WWW.MOLOCO.INFO [Электронный ресурс]: URL: <http://www.bolgov.net> (3 марта 2013).
5. Пашенко, Л.П. Технология хлебобулочных изделий [Текст]/Л.П. Пашенко, И.М. Жаркова. — М.: КолосС, 2008. — 389 с.

Побочные продукты переработки тыквы и моркови как компоненты мясорастительных консервов

Лисовицкая Екатерина Петровна, аспирант;
Пономаренко Лариса Владиленовна, кандидат биологических наук, ассистент;
Коваленко Марина Павловна, ассистент
Кубанский государственный аграрный университет

Наиболее рациональным направлением использования отходов консервного производства является комплексная переработка сырья.

В плодоовощной консервной промышленности после переработки сырья образуется очень большое количество отходов, которое используется для других отраслей промышленности, т.к. отходы содержат ценный химиче-

ский состав, питательные вещества: крахмал, сахар, минеральные соли. Они могут быть использованы для изготовления пищевой и не пищевой продукции [2; 13; 14; 17; 20; 25; 28; 29; 37; 39; 44].

Отходы при переработке тыквы — это семена, которые используют как посадочный материал для сельскохозяйственной промышленности, либо если семена идут с не-

большим дефектом их используют на производство масла. Также остатки мякоти и кожицу, плодоножки можно использовать на производство кормовой муки.

Тыква — овощ диетический, низкокалорийный продукт, поэтому она особенно показана в меню при избыточном весе. В мякоти плодов тыквы обыкновенной содержится в %: сахара 8–10, белковых веществ до 15, жирного масла 0,13, пектинового вещества 5,16, органических кислот 0,1–0,2, клетчатки 11–14, фитостерина (следы).

Семена тыквы содержат полезные жирные кислоты, органические кислоты, витамины. В семенах тыквы содержатся: жирное масло 20–50%, состоящее из линолевой, олеиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот, белковые вещества 35%, а также тирозин, лейцин, фитостерол и другие вещества. Листья тыквы содержат 620 мг % витамина С. В цветках тыквы содержатся красящие вещества, флавоноиды и каротиноиды.

Масло семян тыквы обладает антиоксидантным, антисклеротическим, противовоспалительным, гепатопротекторным, желчегонным, антидиуретическим, противоатеросклеротическим эффектами. Масло из тыквенных семечек с успехом используется не только для приготовления пищи, но и как слабительное и противовоспалительное средство [24; 26; 27; 30; 31; 36; 38; 40; 43; 46].

Используют шрот тыквенных семян при разработке новых сортов хлеба с повышенной пищевой и биологической ценностью.

В связи с необходимостью, повышения эффективности переработки плодов тыквы представляет интерес изучение содержания витаминного состава в различных их частях: например, сорт тыквы «Прикубанская» содержит: кора — $11,1 \pm 0,06\%$, мякоть — $73,0 \pm 0,06\%$, плацента — $9,0 \pm 0,07\%$, семена — $7,0 \pm 0,06\%$; «Мраморная»: кора — $10,2 \pm 0,07\%$, мякоть — $72,0 \pm 0,07\%$, плацента — $9,0 \pm 0,07\%$, семена — $9,0 \pm 0,07\%$ [32; 33; 34; 35; 41; 45].

Для сохранения биологически активных веществ в тыквенном сырье в качестве консервантов используют органические кислоты, обладающие низкой степенью диссоциации, высокой токсичностью для жизнедеятельности бактерий и высокими консервирующими свойствами и нетрадиционные консерванты (глицин, природный бишофит), штамм молочнокислых бактерий *L. actis subs. Lactis* [1; 3; 6; 11; 16; 19; 22; 42].

Широко применяется в кормопроизводстве сушеный продукт, полученный из побочного сырья семеноводства тыквы, соответствовал требованиям Минздрава РФ, экологически безопасный для здоровья человека, характеризуется высоким содержанием питательных веществ и продолжительным сроком хранения в стандартной таре при естественных условиях [15; 18; 21; 23].

В зависимости от сорта в сырье тыквы содержится 6–25% сухих веществ, 1,5–14% сахара, 1,5–20 крахмала, витамины С, В₁, В₂, никотиновая кислота, провитамин А, кремниевая кислота, фосфор и т.д. Для сушки

пригодно сырье всех районированных сортов тыквы съёмной зрелости. Полученный сушеный продукт влажностью 10–12% соответствует техническим требованиям: при легком сжатии в руке не слипается в комок, легко размалывается в порошок.

Результатом полной, глубокой переработки тыквы являются: семена тыквы, тыквенный сок с мякотью, пектиновый напиток, пектин, пищевые волокна, нанокристаллическая целлюлоза, мука, тыквенное масло [4; 5; 7; 8; 9; 10; 12].

Отходы при переработке моркови — богаты каротином. Используют их на производство красителей для кондитерской промышленности.

Морковь — признанный лидер среди овощей по содержанию провитамина А, количество которого составляет 7–11 мг % на 100 г, а в некоторых сортах — до 20–37 мг % на 100 г. Корнеплоды содержат сахар (до 15%), белки, клетчатку, небольшие количества эфирного и жирного масел, флавоноиды, азотистые вещества, минеральные соли (кобальт, калий, железо, медь, фосфор, йод), ферменты и витамины В₁, В₂, В₆, С, Е, К, пантотеновую кислоту.

Особенно много в моркови (по сравнению с другими овощами) никотиновой кислоты — витамина РР (0,4 мг %) и каротина — провитамина А (4–9,4 мг %). Наибольшее количество витаминов находится в наружных слоях корнеплодов, причем в красной моркови их намного больше. Из красных корнеплодов получают краску для подкраски сливочного масла, маргарина. В семенах содержатся жирное и эфирное масла, флавоновое соединение, даукостерин. Эфирное масло применяют в парфюмерии.

Морковь содержит в своем составе огромное количество клетчатки. Поэтому она незаменима в питании людей, страдающих ожирением. Морковный сок способствует нормализации углеводного обмена. Морковный сок обладает глистогонным средством. Для избавления от камней и лечения недугов почек и печени можно использовать не только корнеплод, но и семена моркови.

В составе моркови уникальное вещество — фалькаринол. Этот природный пестицид защищает корнеплод от развития грибковых заболеваний. Согласно проведенным медицинским научным исследованиям, именно фалькаринол обладает способностью снижать риск развития онкозаболеваний на 30%. Причем это вещество не разрушается даже при термической обработке овоща. Высокое содержание в моркови аскорбиновой кислоты способствует укреплению иммунитета.

Отходы моркови (10% при чистке, 40% при производстве сока) пригодны для получения витаминных концентратов, каротина, пектина, спирта. Также из моркови можно получить морковные цукаты, сушеную морковь, повидло, замороженную морковь. При переработке плодов и овощей неизбежны отходы в виде кожицы, семян, семенного гнезда, косточек, выжимок и др., которые содержат ценные питательные вещества.

Наиболее рациональный путь использования такого сырья — это переработка его после соответствующей обработки на продукты, технология производства которых гарантирует получение микробиологически безопасных консервов.

Литература:

1. Анализ зараженности зернового сырья микотоксинами/И. Н. Хмара, А. Г. Кощаев, А. В. Лунева, О. В. Кощаева // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. — 2013. — Т. 3. — № 6. — с. 290—293.
2. Анализ эпизоотического состояния птицеводства в Российской Федерации/Г. А. Джалилиди, А. А. Лысенко, Ю. Ю. Пономаренко, А. Е. Лосаберидзе // Ветеринария Кубани. — 2014. — № 2. — с. 25—27.
3. Бабушкина, Л. Г., Коваленко Л. А., Неверова О. П., Судаков В. Г. Биологическая активность компонентов агробиогеоценозов как показатель адаптации экосистем к антропогенному загрязнению. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. — 292 с.
4. Беретарь, И. М. Катастрофа в керченском проливе — экологическое преступление/И. М. Беретарь, В. А. Христинич, А. А. Лысенко // Ветеринария Кубани. — 2008. — № 2. — с. 18—19.
5. Влияние проращивания на химический состав и содержание антипитательных веществ в семенах сои/О. В. Кощаева, И. В. Хмара, К. П. Федоренко, В. В. Шкрядов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 97. — с. 224—236.
6. Гнеуш, А. Н. Применение ферментной кормовой добавки «Микозим СП+» в рационе перепелов/А. Н. Гнеуш, Ю. А. Лысенко, Н. И. Петенко // Молодой ученый. — 2015. — № 3 (83). — с. 363—366.
7. Гомелева, Т. Ю. Разработка рецептуры и технологии обогащенного адыгейского сыра/Т. Ю. Гомелева, О. А. Огнева, А. М. Патиева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2008. — № 15. — с. 168—171.
8. Гугушвили, Н. Н. Динамика изменения клеточного и гуморального иммунитета у коров при беременности и после родов/Н. Н. Гугушвили // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. — 2003. — № 6. — с. 64.
9. Гугушвили, Н. Н. Фитостимуляторы микрофагоцитарной системы у коров/Н. Н. Гугушвили // Вестник ветеринарии. — 2001. — № 3 (20). — с. 37—39.
10. Донченко, Л. В. Разработка способов повышения студнеобразующей способности низкоэтерифицированных пектинов/Л. В. Донченко, А. В. Темников // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. — 2014. — № 10. — с. 44—46.
11. Жолобова, И. С. Влияние натрия гипохлорита на перепелов в период интенсивной яйцекладки/И. С. Жолобова, А. В. Лунева, Ю. А. Лысенко // Птицеводство. — 2013. — № 07. — с. 15—20.
12. Изменения в пигментном комплексе плодов тыквы мускатной в процессе созревания и хранения/А. Г. Кощаев, С. Н. Николаенко, Г. А. Плутахин, А. И. Петенко // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2007. — № 4. — с. 45—48.
13. Изучение токсикологического действия пробиотической кормовой добавки/А. Г. Кощаев, Н. А. Гранкина, В. В. Борисенко, В. И. Николаенко // Молодой ученый. — 2015. — № 5—1 (85). — с. 12—14.
14. Ильясов, О. Р., Неверова О. П., Печура Е. В. Перспективы использования методов экобиозащиты открытых водоемов от воздействия сточных вод птицеводческих комплексов // Аграрный вестник Урала. — 2012. — № 4 (96). — с. 47—49.
15. Кощаев, А. Г. Изучение хронической токсичности пробиотической кормовой добавки трилактосорб для использования в мясном перепеловодстве/А. Г. Кощаев, Ю. А. Лысенко, Е. И. Мигина // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 48. — с. 133—138.
16. Кощаев, А. Г. Экологически безопасные технологии витаминизации продукции птицеводства в условиях юга России/А. Г. Кощаев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. — 2006. — № 9. — с. 58—66.
17. Кудренко, Ю. В. Паразитофауна весплоноса в России и США/Ю. В. Кудренко, В. А. Христинич, И. М. Беретарь, А. А. Лысенко // Ветеринария Кубани. — 2008. — № 4. — с. 9—10.
18. Лисовицкая, Е. П., Патиева С. В. Использование полисахаридов в технологии производства мясных изделий специального назначения // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. — 2012. — с. 219—221.
19. Лунёва, А. В. Натрия гипохлорит: влияние на организм перепелов/А. В. Лунева // Птицеводство. — 2013. — № 4. — с. 35—39.
20. Лысенко, А. А. Эпизоотические особенности *Aphtaе epizooticaе* КРС/А. А. Лысенко, Ю. А. Лысенко, А. В. Лунева // Молодой ученый. — 2015. — № 7. — с. 1037—1040.

21. Лысенко, А. А. Акклиматизация берша в рыбоводных хозяйствах Краснодарского края/А. А. Лысенко, И. М. Бетарь // Ветеринария Кубани. — 2009. — № 3. — с. 24—25.
22. Лысенко, А. А. Ветеринарное образование на Кубани/А. А. Лысенко, С. В. Серeda // Ветеринария Кубани. — 2009. — № 2. — с. 2—5.
23. Лысенко, А. А. Паразитарные болезни прудовых рыб: способы лечения и профилактики/А. А. Лысенко, В. А. Христоч // Ветеринария Кубани. — 2006. — № 2. — с. 23—24.
24. Лысенко, А. А. Формирование паразитарной системы у рыб в прудовых хозяйствах и естественных водоемах и меры борьбы с паразитами в условиях Краснодарского края: Автореф. дис.... д-ра вет. наук. — Иваново, 2006. — 65 с.
25. Мигина, Е. И. Изучение токсикологического и раздражающего действия пробиотической кормовой добавки Трилактосорб для использования в перепеловодстве/Е. И. Мигина, Ю. А. Лысенко, А. Г. Кошцаев // Ветеринария Кубани. — 2014. — № 4. — с. 13—16.
26. Неверова, О. П., Шаравьев П. В., Зуева Г. В. Использование гидробионтов для определения функционального состояния водных экосистем в зоне деятельности животноводческих объектов // Аграрный вестник Урала. — № 11 (117). — 2013. — 63 с.
27. Огнева, О. А. Влияние пектина на синергетические свойства кисломолочных сгустков/Гомелева Т. Ю., Донченко Л. В. // Труды Кубанского аграрного университета. — 2008. — № 15. — с. 151—153.
28. Огнева, О. А. Разработка рецептур и технологии фруктовых жележных десертов/О. А. Огнева, Е. В. Николаенко // Молодой ученый. — 2015. — № 5—1 (85). — с. 32—35.
29. Ольховатов, Е. А. Альтернативный способ снижения токсичности семян клещевины/Е. А. Ольховатов, Е. В. Щербакова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. — 2009. — № 5—6. — с. 16—17.
30. Ольховатов, Е. А. Исследование свойств пектиновых веществ и разработка технологий получения пектина и пектинопродуктов из покровных тканей различных плодов с применением биотехнологической модификации (обзор)/Е. А. Ольховатов // Молодой ученый. — 2015. — № 5. — с. 93.
31. Особенности обмена веществ птицы при использовании в рационе пробиотической кормовой добавки/А. Г. Кошцаев, С. А. Калюжный, Е. И. Мигина, Д. В. Гавриленко, О. В. Кошцаева // Ветеринария Кубани. — 2013. — № 4. — с. 17—20.
32. Патент 2193842, А 01 J 7/04. Устройство для электрической обработки IN VIVO полостей и тканей вымени сельскохозяйственных животных/Н. И. Богатырев, М. В. Назаров, Л. А. Дайбова, Н. В. Когденко, А. Л. Кулакова, Н. А. Демьянченко. (РФ); заявитель и патентообладатель Кубанский госагроуниверситет. — № 2000121333/13; Заявл. 09.08.00; Оpubл. 10.12.02; Бюл. № 34—10 с.
33. Патент 2196987 Российская Федерация, МПК: 7G 01N 33/48 A, 7C 12Q 1/42 B. Способ определения активности кислой фосфатазы в мазках крови/Гугушвили Н. Н. заявитель и патентообладатель КГАУ. — опубл. 17.04.2000
34. Плутахин, Г. А. Биофизика, 2-е изд., перераб. и доп.: учебное пособие для студентов высших учебных заведений/Г. А. Плутахин, А. Г. Кошцаев. — СПб: Издательство «Лань», 2012. — 240 с.
35. Плутахин, Г. А. Электротермическое осаждение белков растительного сока/Г. А. Плутахин, А. Г. Кошцаев, А. И. Петенко // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2004. — № 8. — с. 20.
36. Пономаренко, Л. В. Биологические особенности китайского финика (унаби) в западном предкавказье/Л. В. Пономаренко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2014. — № 103. — с. 1282—1295.
37. Практическое применение электрохимически активированных водных растворов/Г. А. Плутахин, М. Аидер, А. Г. Кошцаев, Е. Н. Гнатко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — Краснодар: КубГАУ, 2013. — № 92. — с. 254—264.
38. Применение сукцината цинка в инкубации куриных яиц/В. А. Антипов, А. Н. Трошин, А. В. Левченко, А. Х. Шантыз, А. В. Лунева // Птицеводство. — 2014. — № 1. — с. 28.
39. Сарбатова, Н. Ю. Технологические особенности функциональных продуктов с использованием рыбного сырья и конжаковой камеди/Н. Ю. Сарбатова, К. Ю. Шебела, Е. П. Лисовицкая // Молодой ученый. — 2015. — № 5—1 (85). — с. 38—40.
40. Степовой, А. В. Развитие безалкогольной промышленности в России в направлении производства функциональных напитков/А. В. Степовой. — «Известия вузов. Пищевая технология». — Краснодар, 2009. — 47 с.
41. Степовой, А. В. Производство безалкогольных функциональных напитков нового поколения: монография/А. В. Степовой. — Краснодар: КубГАУ, 2013. — 82 с.
42. Темников, А. В. Использование CO₂-шротов пряно-ароматических растений в технологии помадных конфет/А. В. Темников, И. Б. Красина, А. Д. Минакова, А. Н. Есина // Известия вузов. Пищевая технология. — 2010. — № 4. — с. 45—46.

43. Тимошенко, Н. В. Использование пищевого волокна при корректировке мясосодержащей продукции для людей, имеющих избыточную массу тела/Н. В. Тимошенко, А. М. Патиева, Е. П. Лисовицкая // Молодой ученый. — 2014. — № 18. — с. 294—297.
44. Шаравьев, П. В. Основные проблемы птицеводства // Молодежь и наука. — 2012. — № 1. — с. 166—168.
45. Шаравьев, П. В. Инновационные технологии озонирования патогенов картофеля/П. В. Шаравьев, Г. В. Зуева, О. П. Неверова // Аграрный вестник Урала. — 2014. — № 3 (121). — с. 63—66.
46. Эффективность использования натрия гипохлорита в перепеловодстве/В. В. Борисенко, Н. А. Гранкина, А. В. Степовой, В. И. Николаенко // Молодой ученый. — 2015. — № 5—1 (85). — с. 1—3.

Уточненный химизм процессов образования частиц сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на этано-топливной эмульсии

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;
Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Механизм образования сажи связан с большим числом химических реакций и очень сложен. В общем случае он представляет собой последовательность процессов разложения углеводородных топлив, образования активных углеродных частиц в пламени, роста ядер сажи, агломерации частиц и окисления сажи. Содержание сажи в ОГ дизеля зависит от всех перечисленных процессов, из которых наиболее изучен только последний. Как показали исследования, частицы углерода образуются в центральной зоне топливной струи, где содержание кислорода недостаточно.

Содержание сажи в ОГ зависит от свойств топлива, структуры топливного факела, формы КС, температуры пламени и является результатом протекания двух определяющих процессов — образования и окисления. Эти процессы, в свою очередь, зависят от особенностей конструкции двигателя и режимов его работы.

В процессе исследований применялась ЭТЭ следующего состава:

ДТ — 67,5%, этиловый спирт — 25%, вода — 7%, присадка — 0,5% [1, 2].

На рисунке 1 представлен возможный химизм процесса образования сажи в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на ЭТЭ.

Воспламенение топлива от сжатия в цилиндре дизеля носит сложный и многостадийный характер. Принято считать, что воспламенение перемешанных с воздухом углеводородов носит цепочно-тепловой характер. Скорость протекания подготовительных процессов зависит от склонности топлива к образованию активных частиц. При работе дизеля на ЭТЭ спирт и ДТ впрыскиваются в цилиндр одновременно. Пары спирта поджигаются пламенем ДТ, воспламенение которого происходит по традиционной схеме.

Поскольку сажа является метастабильным продуктом процесса горения, то нельзя исключать возможность существования нескольких путей перехода (механизмов)

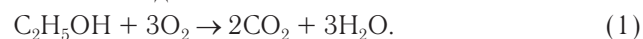
в это состояние в зависимости от условий реализации процесса горения. При работе дизеля на ЭТЭ основное количество сажи в составе ОГ образуется при сгорании ДТ [3, 4].

Особенности образования сажи при сгорании ДТ в цилиндре детально рассмотрены в трудах многих российских и зарубежных ученых. Полагаем, что основными механизмами, оказывающими наиболее весомый вклад в образование частиц сажи в цилиндре дизеля, являются низкотемпературный фенильный механизм (НТФМ), преобладающий при температурах менее 1500 К, и высокотемпературный ацетиленовый механизм (ВТАМ), который преобладает при температурах более 1500 К.

Этанол оказывает существенное влияние на процессы горения, образования и окисления вредных веществ в цилиндре. Значительную роль играют особенности горения эмульгированных топлив и термическое разложение этанола с образованием значительного количества активных радикалов C_2H_5 и OH , которые способствуют интенсификации процессов горения.

Рассмотрим возможный механизм образования сажи из этанола.

Этанол — представитель гомологического ряда одноатомных спиртов. При сгорании этанола образуются углекислый газ и вода:



В цилиндре дизеля наблюдается значительная неоднородность заряда на всем протяжении процессов впрыска топлива, горения и расширения. Выделение в процессе сгорания твердого углерода в виде мелких сажевых частиц может происходить в результате пиролиза, а также окислительного крекинга молекул топлива в зонах сильно переобогащенной смеси при условии, что температуры в этих зонах достаточно высоки. Именно такие условия создаются в дизелях при горении капелек жидкого топлива, когда в одних зонах факела распыла местные значения состава смеси близки к стехиометрическим, и, соответ-



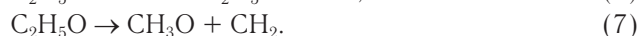
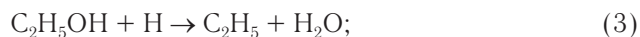
Рис. 1. Химизм процесса образования сажи в цилиндре дизеля 4С 11,0/12,5 при работе на этано-топливной эмульсии

ственно, температуры пламени максимальны, в то время как в смежных зонах имеет место значительный недостаток кислорода. В таких условиях при распаде молекулы этанола возможно выделение углерода.

Спирты характеризуются более высокой активностью при горении по сравнению с углеводородами. Благодаря этому горение протекает устойчивее, а предел воспламенения смеси смещен в более бедную область. Основной причиной этого является диссоциация этанола в условиях высоких температур. Это ведет к образованию активных радикалов, облегчающих начало цепной реакции и ускоряющих процесс окисления топлива. В интервале температур 1000...2600 К молекула этанола подвергается термическому распаду:



При окислении этанола происходит внедрение атомов кислорода между атомами углерода и водорода с образованием молекул, содержащих группу OH. Это явление ускоряет процессы окисления сажевых зародышей и предотвращает коагуляцию. Вероятны следующие направления реакций:



Далее окисление идет через последовательность реакций образования промежуточных продуктов, осуществляющих переход реагирующей системы от исходного состояния к конечным продуктам. Такими промежуточными продуктами могут быть перекиси, молекулы и их осколки с группой OH, атомы водорода и кислорода, свободные радикалы.

После образования физических зародышей происходит коагуляция первичных сажевых частиц, сопровождающаяся гетерогенным процессом поверхностного роста частиц до характерных размеров 10...30 нм. Подавляющая часть массы частиц сажи (> 95%) образуется за счет поверхностного роста, а не за счет процесса образования зародышей. Процесс коагуляции заключается в столкновении двух частиц, которые затем «слипаются» друг с другом с образованием общей внешней оболочки.

Химизм процесса роста частиц заключается в разложении молекул углеводородов и радикалов на поверхности частицы. При быстром охлаждении часть высокомолекулярных углеводородов, образовавшихся при распаде молекул ДТ, не успевает пройти все стадии превращений и адсорбируется поверхностью сажевых частиц, что определяет канцерогенную опасность сажи.

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.
15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.

Уточненная математическая модель образования и выгорания частиц сажи в цилиндре дизеля 4С 11,0/12,5 при работе на этано-топливной эмульсии

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;
Россохин Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Рациональное сочетание расчета и эксперимента позволяет повысить эффективность работ по улучшению экологических показателей дизелей и расширить границы исследования.

Математическая модель образования и выгорания частиц сажи в цилиндре дизеля должна быть адекватна описываемому физико-химическому явлению, включать в себя основные влияющие факторы, обладать определенностью выбора коэффициентов расчетных уравнений и быть достаточно простой для использования. Этим требованиям отвечает предложенная модель образования и выгорания частиц сажи в цилиндре по кинетическим уравнениям испарения и горения распыленного топлива. При разработке математической модели учтены особенности динамики, структуры и испарения топливных факелов в цилиндре дизеля, структуры пламени и кинетики цепных химических реакций в неоднородной смеси. В предложенной модели предполагается, что сажевые частицы в цилиндре дизеля образуются преимущественно двумя путями:

- 1) в результате распада молекул топлива в процессе диффузии с поверхности капель топлива в передний фронт пламени;
- 2) вследствие высокотемпературной термической полимеризации и дегидрогенизации парожидкостного ядра испаряющихся капель.

Параллельно этому происходит процесс выгорания частиц сажи и снижение их объемной концентрации.

Скорость изменения концентрации сажи в объеме цилиндра:

$$\frac{d[C]}{d\tau} = U \left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_k + U \left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_n - \frac{1}{U} \left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_b - \left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_v, \quad (1)$$

где U — коэффициент для учета скоростного режима;

$\left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_k$ — скорость образования сажи в области сгорания;

$\left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_n$ — скорость образования сажи при полимеризации центра капель;

$\left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_b$ — скорость выгорания сажи;

$\left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_v$ — скорость уменьшения концентрации сажи при расширении.

Коэффициент U в уравнении сажевыделения вводится для учета скоростного режима при расчете динамики образования сажевых частиц:

$$U = A \left(\frac{n_{\text{ном}}}{n} \right)^m, \quad (2)$$

где n — частота вращения коленчатого вала двигателя;

$n_{\text{ном}}$ — частота вращения коленчатого вала двигателя на номинальном режиме работы;

A, m — эмпирические коэффициенты.

Для описания скорости образования сажи в области сгорания воспользуемся кинетическими уравнениями разветвленных цепных реакций.

Скорость расходования топлива:

$$\omega = - \frac{d[A]}{d\tau} = [A]_0 \cdot \frac{d\chi}{d\tau} = k \cdot [A] \cdot n, \quad (3)$$

где $[A]_0, [A]$ — начальная и текущая концентрация топлива;

$\frac{d\chi}{d\tau}$ — скорость тепловыделения;

k — константа скорости реакции;

n — концентрация активных центров (атомов и свободных радикалов).

Изменение концентрации активных центров зависит от фактора φ автоускорения химических реакций при высоком давлении среды:

$$\varphi = 2k \cdot [A] \cdot \vartheta, \quad (2.27)$$

где ϑ — коэффициент, зависящий от текущей концентрации топлива.

Скорость образования сажи в области сгорания в общем виде:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_k = B_1 \cdot \varphi \cdot n, \quad (4)$$

где B_1 — коэффициент пропорциональности.

С учетом (2.26) и (2.27), выражение для скорости образования сажи в области сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 имеет следующий вид:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_k = 0,004 \cdot \frac{q_c}{V} \cdot \frac{d\chi}{d\tau}, \quad (5)$$

где q_c — цикловая подача топлива;

V — текущий объем цилиндра.

Скорость образования сажи при полимеризации центра капель пропорциональна скорости испарения жидких капель:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_n = B_2 \cdot \delta \cdot \frac{q_c}{V} \cdot \frac{dS}{d\tau}, \quad (6)$$

где B_2 — коэффициент пропорциональности;

δ — доля массы капли, превращающаяся в сажевую частицу;

S — массовая доля капель диаметром менее d_k ;

d_k — начальный диаметр капель, испаряющихся полностью за время τ .

$$d_k = \sqrt{K \cdot \tau}, \quad (7)$$

где K — константа испарения.

Дисперсность распыливания топлива оценивают с помощью характеристик распределения капель по размерам. В теории испарения и горения струй распыленного топлива используется формула Розина — Раммлера [3]:

$$S = 1 - e^{-(d_k/d_{32})^{n'}}, \quad (8)$$

где d_{32} — средний диаметр капель;

n' — коэффициент распределения, для дизельных форсунок $n' = 2...4$.

Полагаем, что при работе дизеля 4Ч 11,0/12,5 на ЭТЭ количество частиц сажи, образующихся при полимеризации центра капель, значительно меньше, чем при работе на ДТ. Это связано с разрывом капель эмульгированного топлива при горении. При дроблении капель увеличивается скорость их испарения и улучшается перемешивание топлива с воздухом.

На разных стадиях процесса расчет ведется по разным уравнениям.

Выражение для скорости образования сажи при полимеризации центра капель в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в период впрыска:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_n = 1,7 \cdot \frac{q_c}{V} \cdot \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{\sqrt{K \cdot \tau_1}}{d_{32}}\right)^{n'}\right]}{\tau_{впр}}, \quad (9)$$

где τ_1 — текущее время с начала впрыска;

$\tau_{впр}$ — продолжительность впрыска.

Для периода после окончания впрыска топлива выражение имеет вид:

$$\left(\frac{d[C]}{dt}\right)_n = 0,0028 \cdot (1 - \chi_{\text{квпр}}) \cdot \frac{n' \cdot q_c}{2V \cdot \tau_2} \cdot \left(\frac{\sqrt{K \cdot \tau_2}}{d_{32}}\right)^{n'} \cdot \exp\left(-\frac{\sqrt{K \cdot \tau_2}}{d_{32}}\right)^{n'} \quad (10)$$

где $\chi_{\text{квпр}}$ — доля теплоты, выделившаяся к моменту окончания впрыска;

τ_2 — текущее время после окончания впрыска.

Скорость горения углеродных сфер в движущемся воздухе зависит от скорости химических реакций на поверхности углерода, а также от скорости взаимной диффузии кислорода и продуктов сгорания возле поверхности сферы. Если температура поверхности горячей углеродной частицы T_s превышает 1600 К, лимитирующим процессом является диффузия. В этих условиях скорость реакции мало зависит от температуры поверхности частицы T_s , она пропорциональна парциальному давлению кислорода в окружающем газе и существенно зависит от скорости газового потока U :

$$\omega \approx p_{\text{O}_2}^{m_1} \cdot T_s^{m_2} \cdot U^{m_3} \cdot d^{-1}, \quad (11)$$

где d — диаметр частицы;

p_{O_2} — парциальное давление кислорода в окружающем газе.

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 131–134.
12. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
13. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
14. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 139–141.
15. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 141–144.
16. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
17. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
18. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.

19. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
20. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
21. Анфилатов, А. А. Удельный эффективный расход топлива дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 87–90.

Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;
Чувашев Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В Вятской ГСХА на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов осуществлена разработка дизеля 2Ч 10,5/12,0 для работы на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи. В работе приводится анализ показателей процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения частоты вращения.

Ключевые слова: дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

На рисунке 1 представлено влияние применения метанола с ДСТ на показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала при работе на различных видах топлива [1–15]. Из кривых видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ показатели процесса сгорания изменяются во всем диапазоне изменения частоты вращения. Из графиков видно, что при увеличении частоты вращения максимальное давление сгорания снижается с 7,58 МПа при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 7,0 МПа при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$. Снижение составляет 0,58 МПа, или 7,65%. При этом следует отметить, что давление сжатия двигателя 2Ч 10,5/12,0 при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ составляет 3,42 МПа и при увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ поднимается до 3,81 МПа. Увеличение составляет 10,2%. Значение степени повышения давления изменяется с 2,22 при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 1,84 при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$, снижение составляет 17,1%. Максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ увеличивается от 1880 К при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 2050 К при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$. Рост температуры составляет 170 К, или 8,3%. Угол, соответствующий ПЗВ, при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет $\varphi_i = 25,6^\circ \text{ п. к. в.}$ при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$, а при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ возрастает до $\varphi_i = 29^\circ \text{ п. к. в.}$ Увеличение составляет $3,4^\circ \text{ п. к. в.}$, или 11,7%. Максимальная «жесткость» процесса сгорания при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ имеет значение $(dp/d\varphi)_{\text{max}} = 0,470 \text{ МПа/град}$, и при увеличении частоты вращения максимальная «жесткость» снижается. При $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ $(dp/d\varphi)_{\text{max}} = 0,270 \text{ МПа/град}$. Снижение максимальной «жесткости» составляет 42,5%.

Максимальное давление цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ больше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ максимальное давление цикла увеличивается с $p_{z \text{ max}} = 7,15 \text{ МПа}$ при работе дизеля на ДТ до $p_{z \text{ max}} = 7,58 \text{ МПа}$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 5,7%. С увеличением частоты вращения происходит снижение максимального давления сгорания. Так, при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ значение $p_{z \text{ max}} = 6,9 \text{ МПа}$ при работе дизеля на ДТ, $p_{z \text{ max}} = 7,0 \text{ МПа}$ при работе дизеля на метаноле. При этом значение степени повышения давления при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ и работе дизеля на ДТ составляет 2,09, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ и этой же частоте вращения $\lambda = 2,22$.

Увеличение составляет 5,9%. При увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ значение степени повышения давления при работе дизеля на ДТ составляет 1,81, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ $\lambda = 1,84$. Максимальная осредненная температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ составляет 1880 К, а при работе дизеля на ДТ $T_{\text{max}} = 1830 \text{ К}$. Снижение составляет 50 К, или 2,7%. При увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ максимальная осредненная температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ возрастает и составляет 2050 К по сравнению с T_{max} при работе дизеля на ДТ, которая равна 2020 К. Увеличение составляет 30 К, или 1,46%. ПЗВ при работе дизеля на метаноле с ДСТ возрастает во всём диапазоне изменения частоты вращения. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ значение $\varphi_i = 25,6^\circ \text{ п. к. в.}$, а при работе дизеля на ДТ $\varphi_i = 22^\circ \text{ п. к. в.}$ Увеличение составляет 14%. При дальнейшем увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ зна-

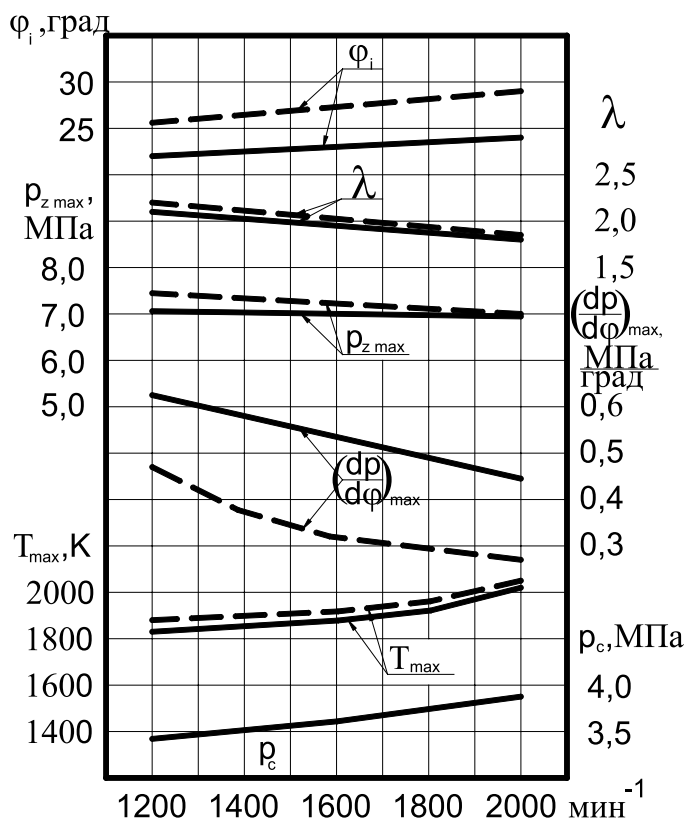


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ на показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения частоты вращения: — — дизельный процесс; - - - - метанол с запальным ДТ

чение φ_i при работе дизеля на метаноле с ДСТ составляет 29° п.к.в., а при работе дизеля на ДТ $\varphi_i = 24^\circ$ п.к.в. Увеличение составляет 5° п.к.в., или 17,2%. Величина максимальной «жесткости» процесса сгорания при $n = 1200$

мин^{-1} при работе дизеля на ДТ составляет $(dp/d\varphi)_{\text{max}} = 0,635$ МПа/град а при работе дизеля на метаноле с ДСТ $(dp/d\varphi)_{\text{max}} = 0,470$ МПа/град. Снижение составляет 26% [16–30].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография/Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
4. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле/В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 3. — с. 8–11.
5. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле/В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 4. — с. 10–13.
6. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
7. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2007. — 167 с.
8. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 340–343.

9. Чувашев, А. Н. Особенности процесса сгорания в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 343–346.
10. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 347–348.
11. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 349–350.
12. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 351–352.
13. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 226–229.
14. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 232–235.
15. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 235–238.
16. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 238–241.
17. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 117–120.
18. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 120–123.
19. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 123–125.
20. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 125–128.
21. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 128–131.
22. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 131–134.
23. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 134–136.
24. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 136–139.
25. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 139–141.
26. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 141–144.
27. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93) с. 73–76.
28. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93) с. 76–79.
29. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93) с. 79–82.
30. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93) с. 82–85.

Характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения

Лиханов Виталий Анатольевич, доктор технических наук, профессор;
 Чувашев Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент
 Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

В Вятской ГСХА на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов осуществлена разработка дизеля 2Ч 10,5/12,0 для работы на метаноле с использованием двойной системы топливоподачи. В работе приводится анализ характеристик тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения частоты вращения.

Ключевые слова: дизель, метанол, двойная система топливоподачи.

На рисунке 1 представлено влияние применения метанола с ДСТ на характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала при работе на различных видах топлива [16–30]. Из графика видно, что при работе дизеля на ДТ при увеличении частоты вращения уменьшается максимум скорости активного тепловыделения с $(d\chi/d\phi)_{max} = 0,052$ при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до $(d\chi/d\phi)_{max} = 0,049$ при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$. Снижение составляет 5,8%. При этом кривая активного выделения теплоты, соответствующая максимальному давлению сгорания, также снижается с увеличением частоты вращения с 0,45 при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 0,42 при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ и при работе дизеля на ДТ. Снижение составляет 6,7%. Активное выделение теплоты, соответствующее максимальной температуре цикла, при увеличении частоты вращения снижается.

Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ $\chi_{i, Tz max} = 0,63$, а при увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ $\chi_{i, Tz max} = 0,55$. Снижение составляет 12,7%. Угол, соответствующий максимальной температуре цикла $\phi_{Tz max}$, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ равен 15° после в. м. т. и при увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ увеличивается до $19,5^\circ$ после в. м. т. Увеличение составляет $4,5^\circ$ п. к. в., или 23,1%.

Из кривых видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ показатели процесса тепловыделения изменяются во всем диапазоне изменения частоты вращения. Из графика видно, что при работе дизеля на метаноле с ДСТ при увеличении частоты вращения уменьшается максимум скорости активного тепловыделения с $(d\chi/d\phi)_{max} = 0,062$ при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до $(d\chi/d\phi)_{max} = 0,058$ при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$. Снижение составляет 6,45%. При этом кривая активного выделения теплоты, соответ-

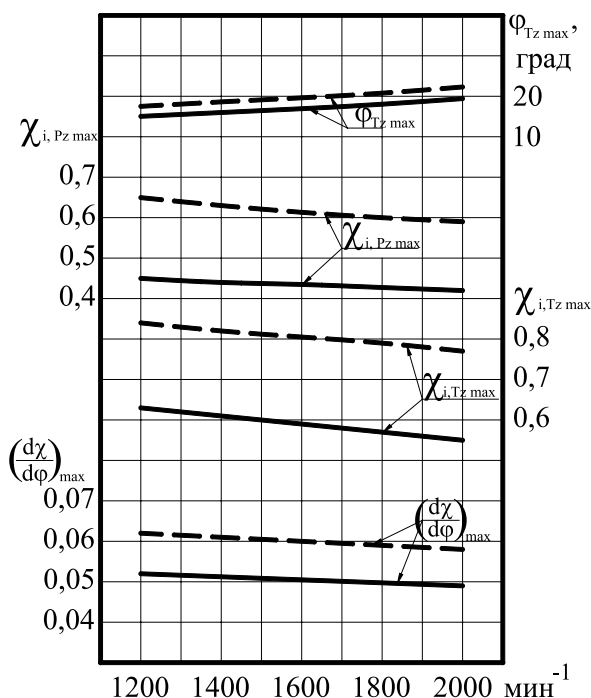


Рис. 1. Влияние применения метанола с ДСТ на характеристики тепловыделения в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения частоты вращения: — — дизельный процесс; - - - метанол с запальным ДТ

ствующая максимальному давлению сгорания, также снижается с увеличением частоты вращения с 0,65 при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до 0,59 при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ и при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 9,23%. Активное выделение теплоты, соответствующее максимальной температуре цикла, при увеличении частоты вращения снижается. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ $\chi_{i, Tz \max} = 0,84$, а при увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ $\chi_{i, Tz \max} = 0,77$. Снижение составляет 8,3%. Угол, соответствующий максимальной температуре цикла $j_{Tz \max}$, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ равен $17,5^\circ$ после в. м. т. и при увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ увеличивается до $22,5^\circ$ после в. м. т. Увеличение составляет 5° п-к-в., или 22,2%.

Анализируя изменения значений показателей процесса тепловыделения в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Максимум скорости активного тепловыделения при работе дизеля на метаноле с ДСТ при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ больше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ значение $(d\chi/d\phi)_{\max} = 0,052$ при работе дизеля на ДТ и $(d\chi/d\phi)_{\max} = 0,062$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 16,1%. С увеличением частоты вращения происходит снижение максимума скорости активного тепловыделения. Так, при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ значение $(d\chi/d\phi)_{\max} = 0,049$ при работе дизеля на ДТ и $(d\chi/d\phi)_{\max} = 0,058$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 15,5%.

Кривая активного выделения теплоты, соответствующая максимальному давлению сгорания, при работе дизеля на метаноле с ДСТ лежит выше соответствующей кривой при работе дизеля на ДТ. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ значение $\chi_{i, Pz \max} = 0,45$ при работе на ДТ и $\chi_{i, Pz \max} = 0,65$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 30,8%. При увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ значение $\chi_{i, Pz \max} = 0,42$ при работе дизеля на ДТ и $\chi_{i, Pz \max} = 0,59$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 28,8%. Кривая активного выделения теплоты, соответствующая максимальной температуре цикла, при работе дизеля на метаноле с ДСТ лежит выше соответствующей кривой при работе дизеля на ДТ. Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ значение $\chi_{i, Tz \max} = 0,63$ при работе дизеля на ДТ и $\chi_{i, Tz \max} = 0,84$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 25%. При увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ значение $\chi_{i, Tz \max} = 0,55$ при работе дизеля на ДТ и $\chi_{i, Tz \max} = 0,77$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет 28,6%. Угол, соответствующий максимальной температуре цикла $j_{Tz \max}$, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ равен 15° после в. м. т. при работе дизеля на ДТ и $17,5^\circ$ после в. м. т. при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Увеличение составляет $2,5^\circ$ п-к-в., или 14,3%. При увеличении частоты вращения до $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ угол увеличивается до $19,5^\circ$ после в. м. т. при работе дизеля на ДТ и до $22,5^\circ$ после в. м. т. при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 3° п-к-в., или 13,3% [16–30].

Литература:

1. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография. — Киров: Вятская ГСХА, 2007. — 129 с.
2. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Анфилатов А. А., Глухов А. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: Монография/Под общ. ред. В. А. Лиханова. — Киров: Вятская ГСХА, 2009. — 334 с.
3. Лиханов, В. А., Чувашев А. Н., Полевщиков А. С., Долгих М. А., Верстаков С. А. Эффективные и экологические показатели дизеля с двойной системой топливоподачи. Тракторы и сельхозмашины, 2011. — № 10, с. 8–10.
4. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле/В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 3. — с. 8–11.
5. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле/В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2007. — № 4. — с. 10–13.
6. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/Санкт-Петербург, 2007. — 18 с.
7. Чувашев, А. Н. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Киров, 2007. — 167 с.
8. Чувашев, А. Н. Исследование показателей рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от значений установочных углов опережения впрыскивания топлив. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 340–343.
9. Чувашев, А. Н. Особенности процесса сгорания в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 343–346.
10. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на частоте вращения коленчатого вала при максимальном крутящем моменте. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 347–348.

11. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки на номинальной частоте вращения коленчатого вала. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 349–350.
12. Чувашев, А. Н. Показатели процесса сгорания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала. Молодой ученый. 2015. № 12 (92) часть III. с. 351–352.
13. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 226–229.
14. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 232–235.
15. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 235–238.
16. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91) с. 238–241.
17. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 117–120.
18. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 120–123.
19. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 123–125.
20. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 125–128.
21. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 128–131.
22. Анфилатов, А. А. Методика исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 по снижению содержания оксидов азота при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 131–134.
23. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 134–136.
24. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 136–139.
25. Анфилатов, А. А. Расчет выбросов вредных газообразных веществ с отработавшими газами дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 139–141.
26. Анфилатов, А. А. Содержание оксидов азота в дизеле при работе на метаноле в зависимости от изменения установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92) с. 141–144.
27. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93) с. 73–76.
28. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93) с. 76–79.
29. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93) с. 79–82.
30. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93) с. 82–85.

Влияние применения природного газа на содержание оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом в зависимости от изменения установочного УОВТ

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

На рис. 1 представлено объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота и показатели процесса сгорания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного

угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) для номинальной частоты вращения (2400 мин⁻¹) и частоты вращения при максимальном крутящем моменте (1900 мин⁻¹) [1–8].

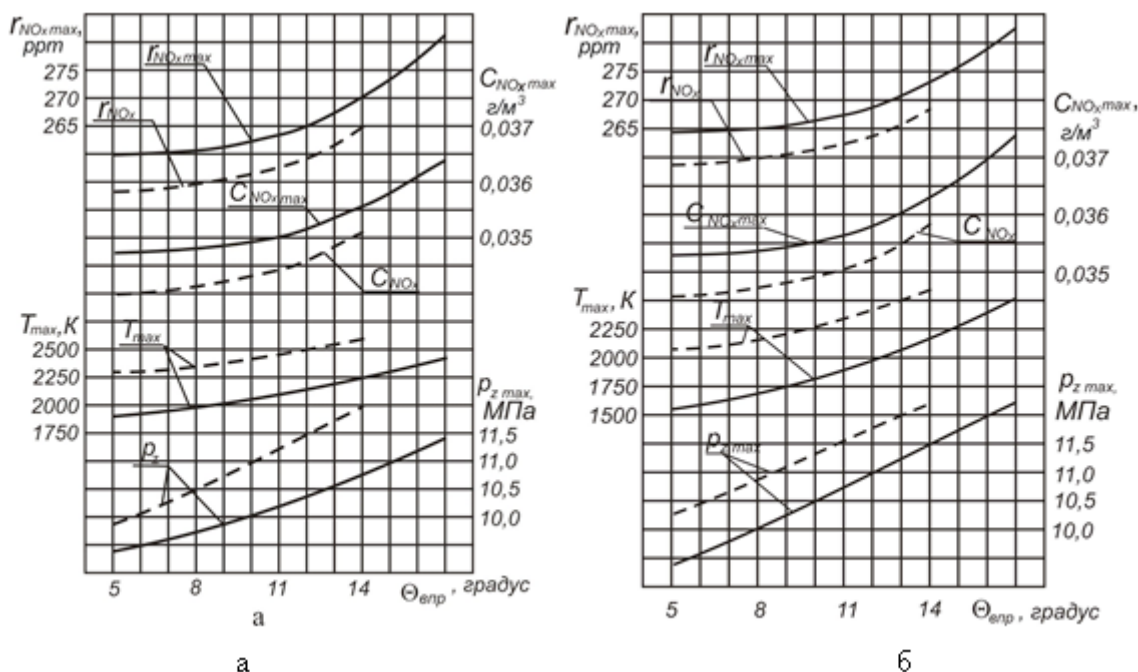


Рис. 1. Влияние применения природного газа на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота и показатели процесса сгорания дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного УОВТ: а — $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$; б — $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$; \square — дизельный процесс; \circ — газодизельный процесс

Из графиков видно, что с увеличением УОВТ при работе по дизельному и газодизельному процессам возрастают объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота, а также максимальные давление газов и температура в цилиндре двигателя [9–15].

При всех значениях установочных УОВТ при переходе на газодизельный процесс происходит снижение объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота, увеличение максимальных давления газов и температуры в цилиндре двигателя [16–25].

Так, при работе по газодизельному процессу при $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$ значения объемного содержания и массовой концентрации составляют 253 ppt и 0,0340 г/м³, соответственно, что ниже на 3% дизельного процесса. При работе по газодизельному процессу при угле опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$ значения объемного содержания и массовой концентрации составляют 265 ppt и 0,0350 г/м³, соответственно, что ниже на 2% дизельного процесса [26–30].

Рассматривая частоту вращения $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 1, б), можно отметить, что с увеличением установочного УОВТ при работе по дизельному и газодизельному процессам также возрастают объемное содержание и мас-

совая концентрация оксидов азота, максимальные давление газов и температура в цилиндре двигателя [31–34].

При всех значениях углов опережения впрыскивания топлива при переходе на газодизельный процесс также происходит снижение объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота, увеличение максимальных давления газов и температуры в цилиндре двигателя. Так, при работе по газодизельному процессу при угле опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$ значения объемного содержания и массовой концентрации составляют 258 ppt и 0,0346 г/м³, соответственно, что ниже на 3% дизельного процесса. При работе по газодизельному процессу при угле опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ значения объемного содержания и массовой концентрации составляют 262 ppt и 0,0350 г/м³, соответственно, что ниже на 2% дизельного процесса. Это связано с неравномерным распределением температуры в зоне горения, что значительно влияет на выход NO [35–40].

Таким образом, по показателям объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота и показателям процесса сгорания необходимо для газодизеля принять оптимальный установочный УОВТ — 11° до ВМТ.

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.

2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
19. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
20. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
21. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
22. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
23. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
24. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
26. Скрябин, М. Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.

27. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М.Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.
29. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливopодачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеcодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
31. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
36. Лиханов, В.А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
37. Лиханов, В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
39. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
40. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография/В.А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В.А. Лиханова. Киров, 2004.

Динамика образования оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом при УОВТ 8 градусов до ВМТ

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Графики объемного содержания, массовой концентрации оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала при работе по дизельному и газодизельному процессам для номинальной частоты вращения (2400 мин⁻¹) и частоты вращения при максимальном крутящем моменте (1900 мин⁻¹) и установочном угле опережения впрыскивания топлива (УОВТ) $\Theta_{\text{впр}} = 8^\circ$ представлены на рис. 1 [1–9].

Из графиков видно, что максимальные значения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в цилиндре следуют сразу за максимальной темпе-

ратурой цикла, значительно превышают концентрацию оксидов азота в ОГ и увеличиваются с увеличением максимальной температуры цикла [10–16]. Так, при $\Theta_{\text{впр}} = 8^\circ$ и $n = 2400$ мин⁻¹ при работе по газодизельному процессу максимальное объемное содержание оксидов азота в цилиндре составляет 270 ppm, что выше содержания оксидов азота в цилиндре при работе по дизельному процессу на 4% и на 37% выше содержания оксидов азота в ОГ газодизеля на этом же режиме. Следовательно, это говорит о том, что с уменьшением температуры происходит активное разложение образовавшегося оксида азота. Максимальное значение объемного содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет

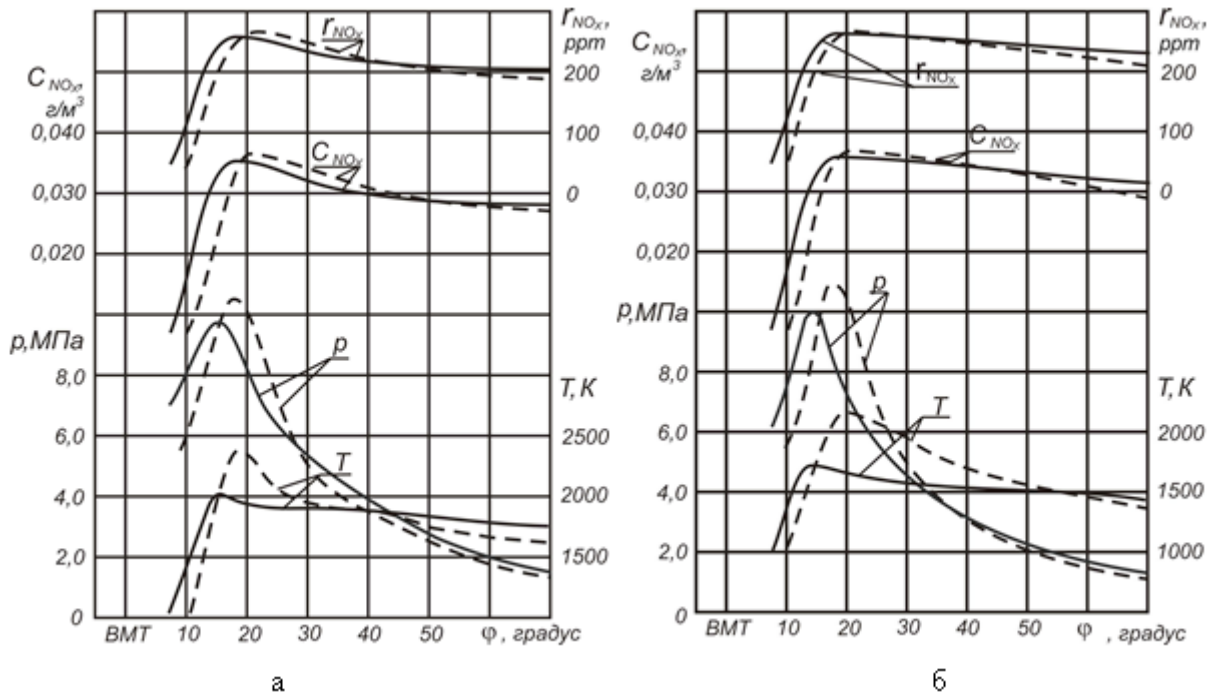


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4CH 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала двигателя при $\Theta_{впр} = 8^\circ$: а — $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$; б — $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$; — — — — дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс

261 ppm; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя объемное содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет 255 %, что ниже на 3 % дизельного процесса [17–24].

Максимальное значение массового содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет 0,0348 г/м³; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя массовое содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет 0,0342 г/м³, что ниже на 2 % дизельного [25–33].

Рассматривая частоту вращения при и частоты вращения при максимальном крутящем моменте ($n=1900 \text{ мин}^{-1}$) можно отметить, что максимальные значения объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота в цилиндре следуют также сразу за максимальной температурой цикла, значительно превышают концентрацию оксидов азота в ОГ и увеличиваются с увеличением максимальной температуры цикла. Так, при $\Theta_{впр} =$

8° и $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ при работе по газодизельному процессу максимальное объемное содержание оксидов азота в цилиндре составляет 273 ppm, что выше содержания оксидов азота в цилиндре при работе по дизельному процессу на 3 % и на 34 % выше содержания оксидов азота в ОГ газодизеля на этом же режиме. Максимальное значение объемного содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет 265 ppm; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя объемное содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет 260 ppm, что ниже на 2 % дизельного процесса [34–40].

Максимальное значение массового содержания оксидов азота при работе по дизельному процессу составляет 0,0353 г/м³; при этом же значении угла поворота коленчатого вала двигателя массовое содержание оксидов азота при работе по газодизельному процессу составляет 0,0347 г/м³, что ниже на 2 % дизельного процесса.

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.

5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.
6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индицирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
19. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
20. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
21. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
22. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
23. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
24. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
26. Скрябин, М. Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 445–448.

29. Скрябин, М.Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливopодачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажеcодержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.
30. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
31. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
36. Лиханов, В.А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
37. Лиханов, В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
39. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
40. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография/В.А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В.А. Лиханова. Киров, 2004.

Исследование содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля с турбонаддувом в зависимости от изменения частоты вращения

Лопатин Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент
Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров)

Графики объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота, максимальной температуры и давления в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе по дизельному и газодизельному процессам в зависимости от изменения частоты вращения представлены на рис. 1 [1–8].

Из графиков видно, что с увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя происходит снижение объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота и максимального давления газов в цилиндре, увеличение максимальной температуры цикла. Так, при работе по газодизельному процессу при $\Theta_{\text{впр}} = 8^\circ$ при увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя с $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ происходит уменьшение объемного содержания с 265 до 255 рртп и массовой концентрации оксидов азота с 0,0353 до 0,0342 г/м³ [9–15].

При работе по газодизельному процессу при увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя с $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ при $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ происходит уменьшение объемного содержания с 267 до 257 рртп и массовой концентрации оксидов азота с 0,0357 до 0,0344 г/м³ [16–24].

При работе по газодизельному процессу при увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя с $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ до $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ при $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$ происходит уменьшение объемного содержания с 272 до 265 рртп и массовой концентрации оксидов азота с 0,0365 до 0,0351 г/м³ [25–31].

Таким образом, при переходе на газодизельный режим объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота ниже в среднем на 3% во всем диапазоне изменения частот вращения коленчатого вала двигателя [32–40].

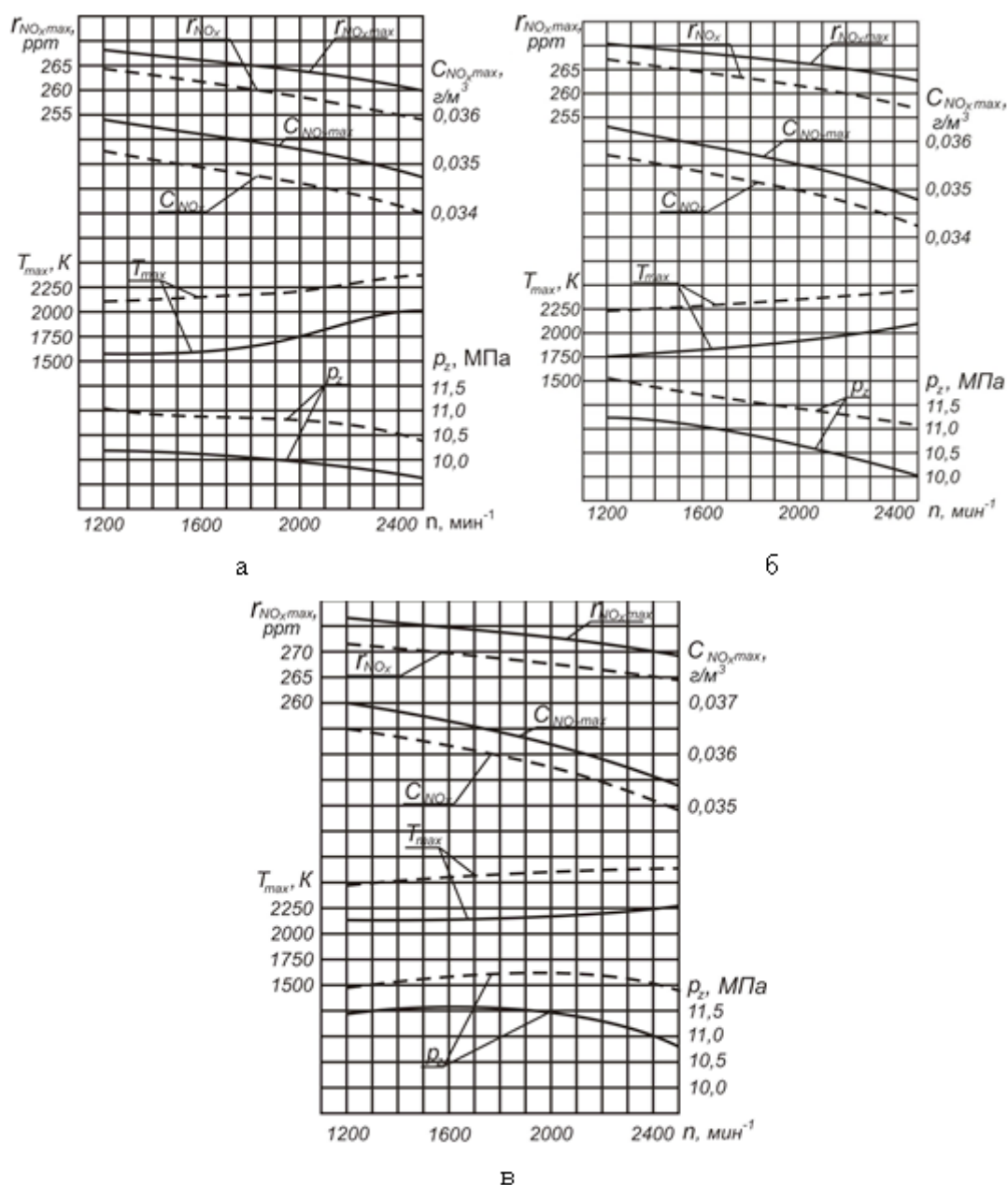


Рис. 1. Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания, объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения: а — $\Theta_{\text{впр}} = 8^\circ$; б — $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$; в — $\Theta_{\text{впр}} = 14^\circ$;
 ————— дизельный процесс; - - - - газодизельный процесс

Литература:

1. Анфилатов, А. А. Результаты объемного содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 226–229.
2. Анфилатов, А. А. Особенности расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 229–232.
3. Анфилатов, А. А. Теоретические расчеты содержания оксидов азота в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 232–235.
4. Анфилатов, А. А. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля с воздушным охлаждением при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 235–238.
5. Анфилатов, А. А. Изменение экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 238–241.

6. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальное давление сгорания в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 117–120.
7. Анфилатов, А. А. Влияние метанола на максимальную осредненную температуру цикла в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 120–123.
8. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на содержание оксидов азота в дизеле при изменении установочных УОВТ // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 123–125.
9. Анфилатов, А. А. Изменение объемного содержания оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 125–128.
10. Анфилатов, А. А. Индексирование тепловыделения в цилиндре дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 128–131.
11. Анфилатов, А. А. Обработка полученных результатов исследований дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 134–136.
12. Анфилатов, А. А. Объемное содержание оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 136–139.
13. Анфилатов, А. А. Влияние применения метанола на мощностные и экономические показатели дизеля // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 73–76.
14. Анфилатов, А. А. Изменение массовой концентрации оксидов азота в дизеле при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 76–79.
15. Анфилатов, А. А. Изменение мощностных и экономических показателей дизеля при работе на метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 79–82.
16. Анфилатов, А. А. Массовая концентрация оксидов азота в дизеле при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 82–85.
17. Анфилатов, А. А. Мощностные и экономические показатели дизеля при работе на дизельном топливе и метаноле // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). с. 85–87.
18. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 6. с. 19–21.
19. Лиханов, В. А., Гребнев А. В., Бузмаков Ю. Г., Скрябин М. Л. Улучшение токсических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. с. 6–7.
20. Скрябин, М. Л. Разработка программы стендовых исследований газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 53–55.
21. Скрябин, М. Л. Особенности горения капли дизельного топлива в турбулентном потоке метано-воздушной смеси в цилиндре газодизеля // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 56–59.
22. Скрябин, М. Л. Исследование мощностных и экономических показателей газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 59–62.
23. Скрябин, М. Л. Влияние угла опережения впрыскивания топлива на экологические показатели газодизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. 2015. № 4 (17). с. 62–65.
24. Скрябин, М. Л. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 430–433.
25. Скрябин, М. Л. Расчет содержания оксидов азота в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 433–436.
26. Скрябин, М. Л. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на токсичность отработавших газов дизеля 4ЧН 11,0/12,5 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 436–439.
27. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола-топливной эмульсии на содержание оксидов азота в отработавших газах 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 439–442.
28. Скрябин, М. Л. Влияние применение метанола на дымность отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 445–448.
29. Скрябин, М. Л. Влияние применения метанола с двойной системой топливоподачи в дизеле 2Ч 10,5/12,0 на показатели процесса сгорания и показатели сажевого содержания // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). с. 442–445.

30. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на общую токсичность дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ПОНВ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 323–326.
31. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на частоте вращения максимального крутящего момента // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 312–314.
32. Скрябин, М.Л. Влияние применения природного газа на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 320–323.
33. Скрябин, М.Л. Особенности расчета констант скорости реакций термической диссоциации в цилиндре дизеля // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). с. 303–306.
34. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/Санкт-Петербург, 1999.
35. Лиханов, В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/Киров, 1999.
36. Лиханов, В.А., Фоминых А.В., Копчиков В.Н. Работа дизеля на метаноле и рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 1. с. 3–5.
37. Лиханов, В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Влияние углов опережения метанола и метилового эфира рапсового масла на образование оксидов азота в цилиндре дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. 2015. № 3 (45). с. 51–54.
38. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Определение оптимальных углов опережения впрыскивания топлив при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2014. № 5 (41). с. 62–64.
39. Лиханов, В.А., Полевщиков А.С. Особенности развития топливных факелов в цилиндре дизеля при работе дизеля на этаноле // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 1 (31). с. 62–65.
40. Исследование рабочих процессов в цилиндре газодизеля 4Ч 11,0/12,5. Монография/В.А. Лиханов [и др.]; под общ. ред. В.А. Лиханова. Киров, 2004.

Молодой ученый

Научный журнал
Выходит два раза в месяц

№ 15 (95) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Г. Д.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М. Н.
Иванова Ю. В.
Каленский А. В.
Куташов В. А.
Лактионов К. С.
Сараева Н. М.
Авдеюк О. А.
Айдаров О. Т.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
Жураев Х. О.
Игнатова М. А.
Коварда В. В.
Комогорцев М. Г.
Котляров А. В.
Кузьмина В. М.
Кучерявенко С. А.
Лескова Е. В.
Макеева И. А.
Матроскина Т. В.
Матусевич М. С.
Мусаева У. А.
Насимов М. О.
Прончев Г. Б.
Семахин А. М.
Сенцов А. Э.
Сенюшкин Н. С.
Титова Е. И.
Ткаченко И. Г.
Фозилов С. Ф.
Яхина А. С.
Ячинова С. Н.

Ответственные редакторы:

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

Международный редакционный совет:

Айрян З. Г. (Армения)
Арошидзе П. Л. (Грузия)
Агаев З. В. (Россия)
Бидова Б. Б. (Россия)
Борисов В. В. (Украина)
Велковска Г. Ц. (Болгария)
Гайич Т. (Сербия)
Данатаров А. (Туркменистан)
Данилов А. М. (Россия)
Демидов А. А. (Россия)
Досманбетова З. Р. (Казахстан)
Ешиев А. М. (Кыргызстан)
Жолдошев С. Т. (Кыргызстан)
Игиснинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Кайгородов И. Б. (Бразилия)
Каленский А. В. (Россия)
Козырева О. А. (Россия)
Колпак Е. П. (Россия)
Куташов В. А. (Россия)
Лю Цзюань (Китай)
Малес Л. В. (Украина)
Нагервадзе М. А. (Грузия)
Прокопьев Н. Я. (Россия)
Прокофьева М. А. (Казахстан)
Рахматуллин Р. Ю. (Россия)
Ребезов М. Б. (Россия)
Сорока Ю. Г. (Украина)
Узаков Г. Н. (Узбекистан)
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)
Хоссейни А. (Иран)
Шарипов А. К. (Казахстан)

Художник: Шишков Е. А.

Верстка: Бурьянов П. Я.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.
За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: info@moluch.ru

http://www.moluch.ru/

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 26