



УДК 681.5:629.12(045)

ББК 39.475

RESEARCH OF DYNAMICS OF CHANGES IN TOXIC EMISSIONS OF EXHAUST GAS IN TRANSITION DIESEL OPERATIONS**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ ТОКСИЧНЫХ ВЫБРОСОВ ОГ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ****Leschev V.A./Лещев В.А.***PhD., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID 0000-0002-7327-6978,

SPIN-код: 7889-6175,

Izmail, st. Novokiliska 51/2, 68601

Naydyonov A.I./ Найденов А.И.

S. teacher/ст.преп.

*Danube Institute of National University "Odessa Maritime Academy" Ukraine, Odessa reg.,**Izmail, st. Novokiliska 51/2, 68601.**Дунайский институт Национального университета «Одесская морская академия»**г. Измаил, ул. Новокилийска, 51/2, 68601*

Аннотация. Актуальность работы заключается в том, что путем моделирования исследовано влияние динамических режимов работы САРЧ вращения дизеля на основные компоненты токсичных выбросов. Разработана и применена виртуальная модель такой системы. Показана работоспособность стенда и получены результаты исследования влияния переходных процессов в САР частоты вращения дизеля, содержащей блоки ТНВД, турбокомпрессор и разработанный для исследований блок VisSim «полином ОГ», на показатели токсичных выбросов. Переходные процессы в САРЧ вращения дизеля оказывают существенное воздействие только на некоторые компоненты ОГ, а именно на коэффициент дымности и на оксиды азота. Диапазон их изменений меньше диапазона изменения внешнего возмущающего воздействия. Компонента монооксид углерода в динамике изменяется незначительно по сравнению с другими компонентами. Ее величины не выходят за рамки значений в установленном режиме. Поэтому воздействие судовой автоматики на эту компоненту минимально. Увеличение коэффициента усиления изодрома в два раза по отношению к оптимальному значению в САРЧ вращения дизеля приводит к возможности значительно уменьшить выбросы компоненты оксида азота во всем диапазоне изменений положения рейки ТНВД.

Ключевые слова: моделирование, динамические режимы, токсичность отработавших газов, монооксид углерода, блок VisSim, САРЧ вращения дизеля.

Вступление. Актуальность работы заключается в том, что в ней средствами визуального моделирования проведено исследование изменение токсичных компонентов выбросов отработанных газов (ОГ) в динамических режимах работы дизельного двигателя, которые ранее изучались только исходя из полученных опытным путем данных. Известно, что быстро изменяющиеся условия переходных процессов не позволяют с достаточной точностью и полнотой получать приемлемые для анализа результаты. Цель статьи заключается в том, чтобы объединить результаты исследований, полученные опытным путем для статических режимов, с возможностями интерполяции их в основу математической модели для имитации динамических процессов дизельного двигателя.

Ведущим методом работы является визуальное моделирование на



Оптимизированные по перерегулированию амплитуды частоты вращения дизеля параметры усилителей П-регулятора и изодрома имеют значения $K_{yc}=2,186$ и $K_{из}=12,08$. Другие усилители в схеме применяются как согласующие элементы схемы с соответствующими значениями коэффициентов усиления, найденными методом проб и ошибок. В исследовании все результаты измерений представлены в процентах ($1\% = 10000 \text{ ppm}$) и относительных единицах.

На рис.2 и рис.3 показаны осциллограммы по основным показателям вредных компонентов ОГ CO , NO_x , CH_x и K_x при пусковом режиме с задающим воздействием $\Delta h=1$, при двух положениях топливной рейки ТНВД $h_p=8 \text{ мм}$ и $h_p=16 \text{ мм}$, с разными моментами нагрузки M_c и коэффициентами $K_{yc}=2,037$ и $K_{из}=12,08$.

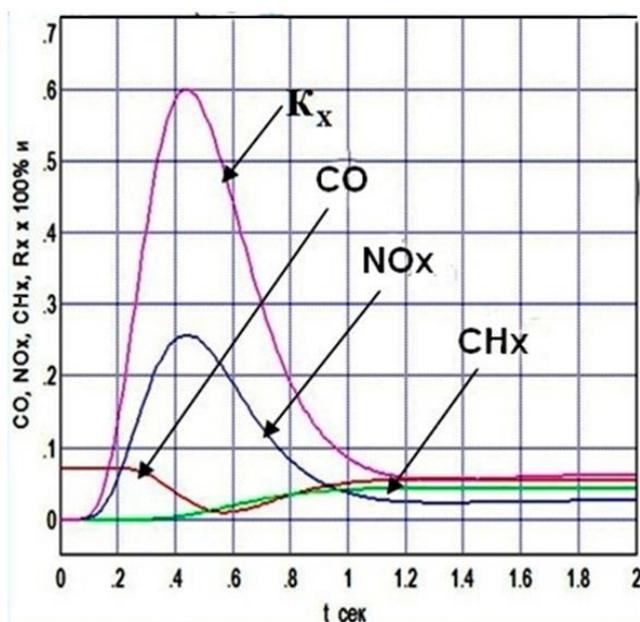


Рис.2 Осциллограммы токсичных компонентов CO , NO_x , CH_x и K_x , в динамическом режиме при $M_c=1,24$, $h_p=16 \text{ мм}$, $K_{yc}=2,037$ и $K_{из}=12,08$

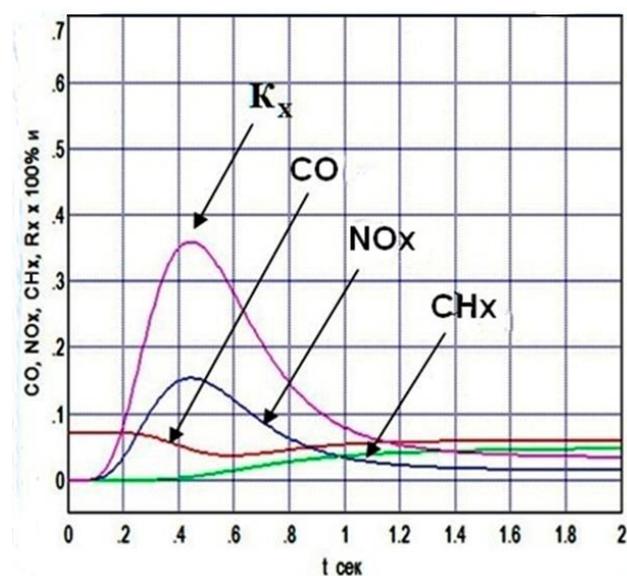


Рис.3. Осциллограммы токсичных компонентов ОГ CO , NO_x , CH_x и K_x , в динамическом режиме при $M_c=0,65$, $h_p=12 \text{ мм}$, $K_{yc}=2,037$ и $K_{из}=12,08$



Опыт производился с начальными условиями, которые соответствовали натурным измерениям таких же процессов на дизеле. Этим проверено соответствие результатов проводимого моделирования с практическими результатами, полученными в статье [6].

Небольшое несовпадение формы кривых, выявленное при сравнении, не выходит за пределы допустимой погрешностью измерений и расчетов натурных испытаний. Это означает, что применение разработанной модели для исследований переходных процессов в ОГ вполне допустимо.

Как видно из осциллограмм, диапазон изменений всех токсичных компонентов ОГ меньше диапазона изменения внешнего возмущающего воздействия равного $M_c=0,65$. Компоненты CO в динамике имеют диапазон изменения существенно меньше, чем другие компоненты, и незначительно выходят за рамки своих значений в установившихся режимах. Из этого следует, что переходные процессы увеличивают выбросы этих токсичных компонентов незначительно.

Особый интерес представляет исследование динамики судового дизеля, при которой внешнее воздействие в виде винтовой характеристики момента сопротивления M_c изменяет показатели токсичных компонентов ОГ по сравнению с их значениями при постоянной нагрузке. Поскольку система автоматики дизеля позволяет менять настроечные параметры элементов схемы, обеспечивая различные динамические характеристики работы дизеля, в том числе и при меняющейся от режима плавания винтовой нагрузке, становится возможным непосредственно воздействовать на величину выбросов ОГ.

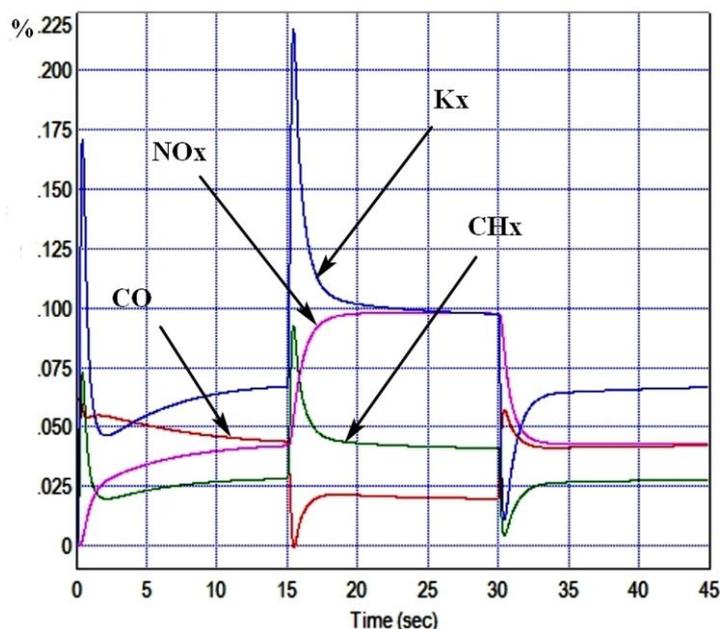


Рис.4. Осциллограммы переходных процессов токсичных компонентов ОГ CO, NO_x, CH_x и K_x при $h_p=16$, $K_{yc}=2,037$ и $K_{из} = 12,08$ и тяжелом гребном винте

Примем динамический режим работы дизеля, который представляет собой процесс, состоящий из ступенчатого разгона сначала до частоты вращения



$\omega_d=0.5$, затем, через 15 сек до номинальной частоты вращения $\omega_d=1.0$ и, спустя 15 сек, торможение до частоты $\omega_d=0.5$.

Такой режим позволит исследовать динамику ОГ как при пуске двигателя, так и при изменениях частоты вращения дизеля, характерных для наиболее тяжелого швартового режима работы судна.

Такой динамический режим имитируют генераторы ступенчатого воздействия со сдвигом включения по времени: 15с, 30с и 45с.

Количественно выбросы ОГ вычисляются как интегральная сумма S_{OG} по каждой токсичной компоненте ОГ блоком учета (БУ), который по кривой переходного процесса подсчитывает определенный интеграл на отрезке времени от 0 до 45с. Такой блок представлен на рис.5.

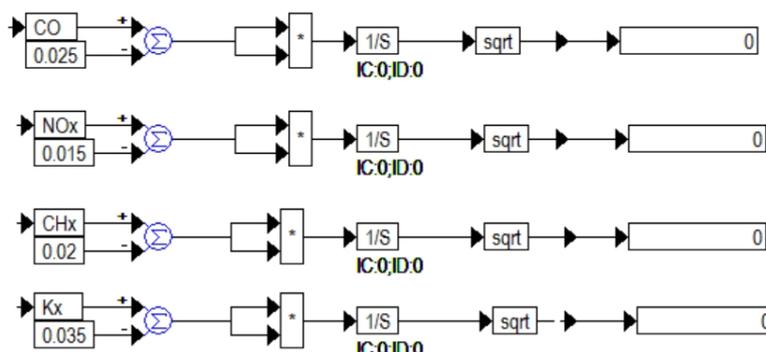


Рис.5. Блок учета величины выбросов токсичных компонент ОГ дизеля

На рис.5 дисплеи БУ предназначены для считывания показывают значений S_{OG} при разных режимах работы САРЧ вращения двигателя по каждой компоненте, которые, для наглядности и удобства сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Интегральные суммы выбросов токсичных компонентов ОГ для различных динамических режимов работы судового дизеля

Токсичные компоненты ОГ	Интегральная сумма S_{OG} при тяжелом винте			
	$K_{из}=12,08$		$K_{из}=24,16$	
	hp=16 мм	hp=8 мм	hp=16 мм	hp=8 мм
CO	0.202309	0.1687086	0.1684184	0.161303
NO _x	0.2271936	0.162032	0.161702	0.1433042
CH _x	0.6963630	0.683740	0.6835702	0.6531931
K _x	0.54707539	0.547075	0.547075	0.5470753

В связи с тем, что из всех токсичных компонентов наиболее опасной является NO_x, рассмотрим режимы работы дизеля при тяжелом винте только для нее.

Из таблицы 1 следует, что при работе судна в узкости, на мелководье, при волнении моря и в других случаях, когда винтовая характеристика делает винт тяжелым, для уменьшения выброса NO_x необходимо уменьшать положение топливной рейки до минимально допустимого по режиму движения при оптимальном по времени переходного процесса коэффициенте изодрома $K_{из}$.



Однако из этой же таблицы 1 также следует, что увеличение коэффициента усиления изодрома $K_{из}$ в два раза позволяет работать с минимальным выбросом оксида азота NO_x во всем диапазоне изменений положения рейки ТНВД (8 мм-16 мм.) При этом уменьшение токсичной компоненты ОГ оксида азота NO_x составит от 30% до 37 % в зависимости от режима плавания.

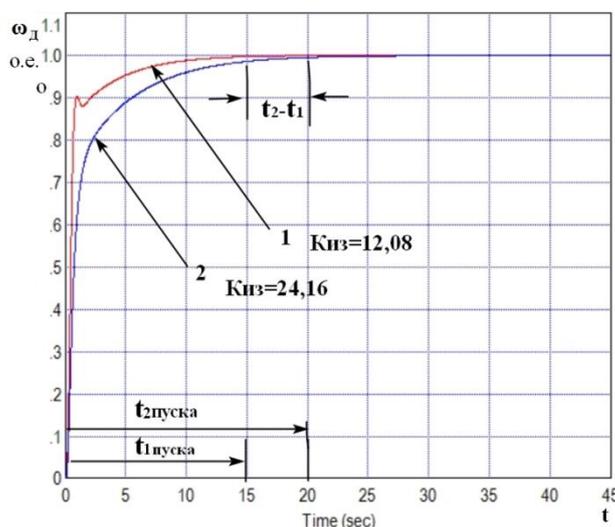


Рис.6. Осциллограммы разгона на номинальную скорость дизеля с оптимальным и измененным коэффициентом усиления изодрома САРЧ.

Следует отметить, что увеличение продолжительности переходного процесса $t_{пуска}$ при росте коэффициента усиления изодрома в 2 раза, как видно на рис.6, практически не меняет параметры переходного процесса. Для схемы испытательного стенда коэффициент соотношения времен пуска составил

$$k = \frac{t_{2пуска}}{t_{1пуска}} = 1,33, \text{ что на практике малозаметно.}$$

Заключение и выводы

Исследование показало, что применение разработанной модели для исследований переходных процессов в ОГ дает результаты, которые не выходят за пределы допустимой погрешности измерений и расчетов натуральных испытаний.

Переходные процессы в САРЧ вращения дизеля оказывают существенное воздействие только на некоторые компоненты ОГ, а именно на коэффициент дымности K_x и на оксиды азота NO_x . Диапазон их изменений меньше диапазона изменения внешнего возмущающего воздействия.

Компоненты монооксид углерода CO и углеводороды C_nH_m в динамике изменяются незначительно по сравнению с другими компонентами. Их величины не выходят за рамки значений в установившихся режимах. Таким образом, воздействие судовой автоматики на них минимально и изменить их настройкой параметров САРЧ вращения дизеля не перспективно.

Увеличение коэффициента усиления изодрома $K_{из}$ в два раза по отношению к оптимальному значению этого коэффициента в САРЧ вращения дизеля создает возможность значительного уменьшения выброса токсичной компоненты ОГ



оксида азота NO_x во всем диапазоне изменений положения топливной рейки ТНВД.

Литература:

1. Андрусенко С.Е. Проблема снижения токсичности среднеоборотных судовых двигателей // Современные материалы, техника и технология: материалы Международной научно-практической конференции (22 декабря 2011 года)/ редкол.: Горохов А.А. (отв. Ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2011. - с. 36-39.

2 Крутов В.И., Кузьмик П.К. Расчет переходных процессов системы автоматического регулирования дизеля с турбонаддувом с учетом нелинейных характеристик. Известия ВУЗов. Машиностроение, 1969, № 10, – С102-108.

3. Лещев В.А. САУ судового дизеля с внешней обратной связью датчика частоты вращения. – Карлсруэ, G. «Modern engineering and innovative technologies», 2018. – С83-92.

4. Лещев В.А., Найденов А.И. Влияние переходных процессов на величину коэффициента дымности отработанных газов дизеля. – Одесса: Куприенко С.В., «Научный взгляд в будущее», Выпуск 7, - 2019. – С12-19.

5. Марков В А, Шленов М И, Полухин Е Е Влияние формы внешней скоростной характеристики на токсичность отработавших газов дизеля при переходных процессах//– М. Изд-во "Инновационное машиностроение", Грузовик – 2007, №9 – С 20-21, №10 – С36-38.

6. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376с.

7. Толшин В.И. Якунчиков В.В. Снижение токсичных выбросов среднеоборотного судового дизеля в переходных режимах. // Наука и техника на речном транспорте. –М.: ЦБНТИ, 1998. – Вып.1. –С.20-31

References

1.Andrusenko S.E. The problem of reducing the toxicity of medium-speed marine engines // Modern Materials, Engineering and Technology: Materials of the International Scientific and Practical Conference (December 22, 2011) / Editorial: Gorokhov A.A. (ed.); Southwest state un-t Kursk, 2011 .-- p. 36-39.

2 Krutov V.I., Kuzmik P.K. Calculation of transients of a turbocharged diesel automatic control system taking into account non-linear characteristics. University News. Mechanical Engineering, 1969, No. 10, - C102-108.

3. Leshchev V.A. ACS of marine diesel engine with external feedback of the speed sensor. - Karlsruhe, G. “Modern engineering and innovative technologies”, 2018. - C83-92.

4. Leshchev V.A., Naydenov A.I. The influence of transients on the value of the smoke coefficient of diesel exhaust gases. - Odessa: SWORLD & SCIENTWORLD, “Scientific Look into the Future”, Issue 7, - 2019. - S12-19.

5. Markov VA, Shlenov MI, Polukhin EE Influence of the shape of the external speed characteristics on the toxicity of diesel exhaust gases during transients // - M. Publishing House "Innovative Engineering", Truck - 2007, No. 9 - C 20-21 No. 10 - C36-38.

6. Markov V.A., Bashirov R.M., Gabitov I.I. Diesel exhaust toxicity. Moscow: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2002.376 s.

7. Tolshin V.I. Yakunchikov V.V. Reduction of toxic emissions of medium-speed marine diesel in transient conditions. // Science and technology in river transport. –М .: TSBNTI, 1998. - Issue 1. –S.20-31



Abstract. *The relevance of the work lies in the fact that by modeling the influence of the dynamic operation modes of the ACS diesel engine rotation on the main components of toxic emissions is investigated. A virtual model of such a system has been developed and applied. The performance of the bench is shown and the results of a study of the influence of transient processes in a diesel engine speed control system containing fuel injection pump units, a turbo compressor and a VisSim “exhaust gas polynomial” block for research on toxic emissions indicators are obtained. Transients in ACS diesel rotation have a significant impact only on some components of the exhaust gas, namely the smoke coefficient and nitrogen oxides. The range of their changes is less than the range of external disturbance. The component of carbon monoxide in the dynamics varies slightly compared to other components. Its value does not go beyond the values in the steady state. Therefore, the impact of ship automation on this component is minimal. A twofold increase in the isodrome gain relative to the optimal value of diesel rotation in the ACS makes it possible to significantly reduce emissions of the nitric oxide component in the entire range of changes in the position of the injection pump rail.*

Key words: *modeling, dynamic modes exhaust gas toxicity, carbon monoxide, VisSim block, ACS diesel rotation.*

Статья представлена 28.01.2020

©Лещев В.А., Найденов А.И