



УДК 681.5.013

MARINE DIESEL ACS WITH EXTERNAL FEEDBACK OF THE SPEED SENSOR**САУ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ С ВНЕШНЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДАТЧИКА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ****Leschev V.A./Лещев В.А.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.**Natsionalny universitet Odesskaya morskaya akademiya, Odessa, streets Didrihsone 8, 65029**Национальный университет "Одесская морская академия", Одесса, улица Дидрихсона, 8,**65029, 65029*

Аннотация. В статье рассматривается модель САУ судового дизеля с отрицательной обратной связью, охватывающей датчик частоты вращения. Исследованы переходные режимы в схеме с дополнительной обратной связью. Разработана методика выбора коэффициентов усиления и схемы включения отрицательной обратной связи. Показана возможность улучшения эксплуатационных показателей судового дизеля в динамических режимах.

Ключевые слова: *судовой дизель, модель САУ, датчик частоты вращения, обратная отрицательная связь, выбор коэффициента обратной связи, динамические режимы.*

Вступление.

Достижение требуемых технических, топливно-экономических и экологических показателей судовых дизельных ЭСУ невозможно без дальнейшего совершенствования системы топливоподачи. Особый интерес представляет оценка таких показателей на неустановившихся режимах работы (в переходных процессах). В работе [1] указывается на сложность решения этой проблемы из-за многорежимности транспортного дизеля.

В работе [2] отмечено, что многие современные методы синтеза регуляторов не получили широкого практического применения. Это объясняется рядом причин, среди которых: отсутствие простой и понятной связи между минимизируемым функционалом и применяемыми на практике показателями качества, чувствительность системы к изменениям параметров объекта, необоснованная сложность синтезированного регулятора

В работе [3] исследуется регулятор частоты вращения с последовательными корректирующими звеньями для дизеля. Показано, что такие корректирующие звенья частично решают задачи экологии по сокращению вредных выбросов при динамических режимах работы.

В связи с этим, при совершенствовании САУ частоты вращения судового ДВС целесообразно использовать расчетно-экспериментальные методы исследования, позволяющие на базе экспериментальных данных определять необходимые показатели транспортного дизеля на неустановившихся режимах его работы и в наиболее характерных переходных процессах.

Системы автоматического управления (САУ) дизелей реализуют различные принципы регулирования частоты вращения вала. Но, наиболее широко применяются те из них, в которых используется так называемое изодромное регулирование, как отмечено в работе [2].



Основной текст.

Целью данной работы является улучшение эксплуатационных показателей судового дизеля путем охвата отрицательной обратной связью датчика скорости в САУ СДВС с изодромным регулятором и инерционным датчиком частоты вращения коленвала.

Поставленная задача достигается методом математического моделирования при помощи программного комплекса Visual Simulator (ПК VisSim), и исследования переходных процессов в САУ на различных режимах работы.

Исследуемая модель САУ частоты вращения ДВС показана на **рис 1**.

На этом рисунке указаны значения коэффициентов усиления, кроме изменяемых и постоянных времени для САУ СДВС, взятые из работ [4,5].

При помощи слайдеров коэффициенты усиления изодрома и датчика частоты вращения могут изменяться в ходе эксперимента в пределах от 3 до 30.

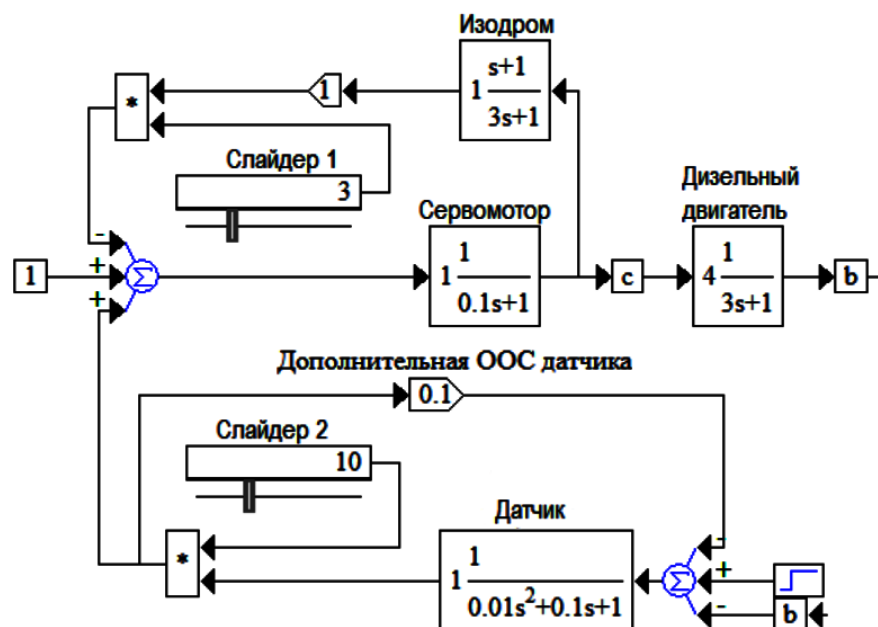


Рис.1. Исследуемая модель САУ частоты вращения ДВС

На реальной САУ эти регулировки выполняются изменением натяжения пружин в определенном допустимом конструкцией диапазоне.

При подаче на вход системы, не имеющей ООС датчика скорости, ступенчатого задающего сигнала, переходный процесс в системе будет протекать колебательно и затухающе, как показано на **рис.2**.

Из рисунка видно, что при отсутствии ООС датчика частоты вращения, при указанных параметрах системы перерегулирование достигает 60% через 1,3 секунды после запуска. Сам переходный процесс длится 8,9 сек и является колебательным, но устойчивым. По условиям эксплуатации эти показатели являются допустимыми, но не оптимальными.

Если уменьшить коэффициент усиления датчика частоты до значения $k_{дат} = 3$ то переходная функция в системе примет вид, показанный на **рис.3**

Отсюда следует, что при этом переходный процесс будет проходить без

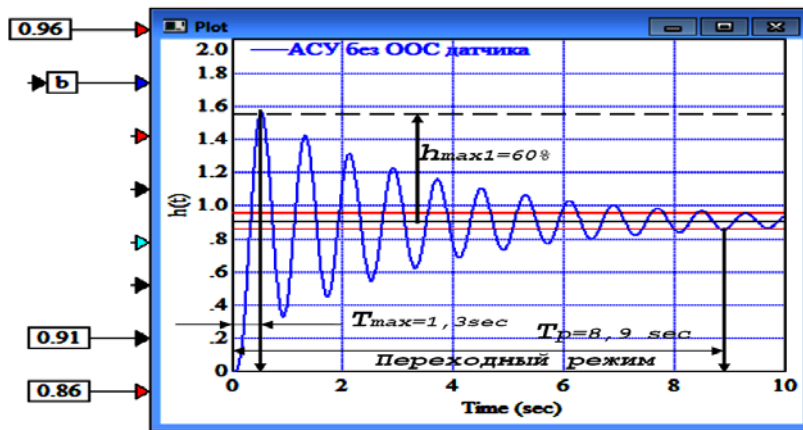


Рис.2. Модель переходного процесса в исследуемой САУ

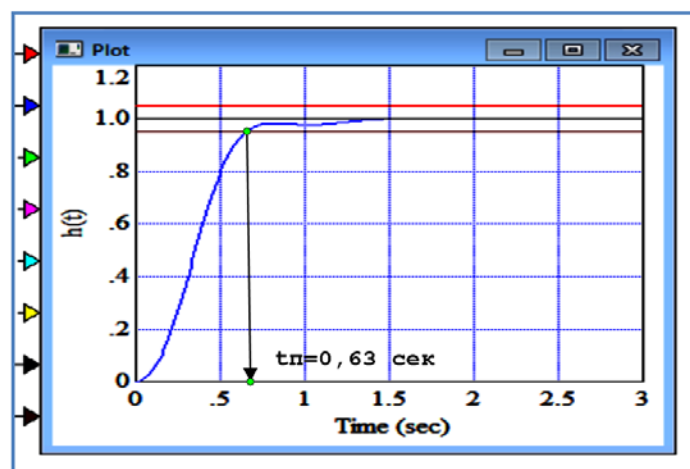


Рис.3. Преходная функция САУ без ООС с малым коэффициентом усиления датчика.

перерегулирования, а время его время сократится до $t_p = 0,65 \text{ сек}$. Отметим, что коэффициент усиления $k_{\text{дат}}$ пришлось значительно уменьшить, что не всегда возможно на реальном образце.

Для улучшения качества переходных процессов в системе САУ СДВС предлагается включить дополнительную ООС связь, охватывающую датчик частоты целиком, так как указано на **рис. 1**.

На **рис.4** показаны переходные характеристики, полученные на экспериментальном стенде, при одинаковых величинах коэффициентов усиления в системе, но при наличии в одной из схем ООС датчика скорости.

Как видно из эксперимента, на модели с применением ООС датчика, при $k_{\text{дат}} = 10$, время переходного процесса сократилась до $t_{nn}(t) = 0,37 \text{ сек}$. Это почти в два раза меньше, чем в системе без ООС датчика, а перерегулирование практически отсутствует.

Для нахождения величины коэффициента усиления ООС датчика произведем некоторые расчеты датчика, охваченного отрицательной обратной связью (ООС).

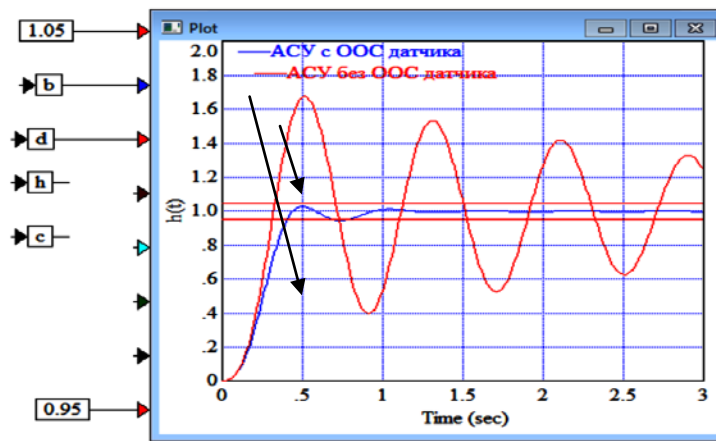
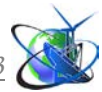


Рис.4. Сравнение переходных функций для САУ с ООС и без не при различных коэффициентах усиления датчика.

Обозначим передаточные функции датчика как $W_{dam}(s)$ и обратной отрицательной связи как $W_{oc}(s)$. Тогда имеем:

$$W_{dam}(s) = \frac{k_{dam}}{T_{dam}^2 p^2 + 2\delta T_{dam} s + 1},$$

$$W_{oc}(s) = k_{oc}.$$

Преобразуя известные формулы встречно-параллельного включения звеньев, получим выражение для передаточной функции системы датчик - обратная отрицательная связь:

$$W(s) = \frac{\frac{k_{dam}}{T_{dam}^2 s^2 + 2\delta T_{dam} s + 1}}{1 + \frac{k_{dam} k_{oc}}{T_{dam}^2 p^2 + 2\delta T_{dam} s + 1}} = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1};$$

Где:

$$K = \frac{k_{dam}}{1 + k_{dam} k_{oc}}; \quad T^2 = \frac{T_{dam}^2}{1 + k_{dam} k_{oc}}; \quad \xi = \frac{\delta}{1 + k_{dam} k_{oc}}.$$

Из опыта находим приемлемое значение отношения $\frac{\delta}{\xi} = 1 + k_{dam} k_{oc} = 2$. Тогда

значение коэффициента датчика получаем $k_{oc} = \frac{1}{k_{dam}}$

Для исследуемой схемы примем $k_{oc} = 0,1$ за номинальный для датчика во всех режимах работы. Изменяя коэффициент усиления датчика k_{dam} , получим семейство переходных процессов при различных наладочных установках.

На **рис. 5** показан переходный процесс для нескольких значений коэффициента усиления датчика частоты вращения вала ДВС.

Исследования показали, что действие ООС датчика частоты вращения САУ СДВС позволяет получать приемлемый вид переходного процесса в широком диапазоне изменения коэффициента усиления самого датчика, который для данной схемы равен $k_{dam} = 3 \div 30$. А это, в свою очередь, предполагает упрощение процесса наладки системы САУ СДВС при ремонтах или замене оборудования.

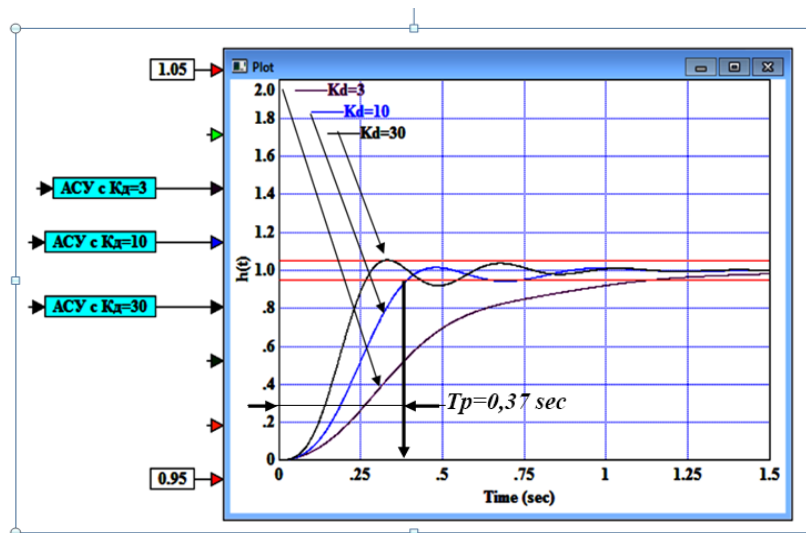
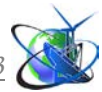


Рис.5. Переходные характеристики САУ СДВС при различных настройках датчика с ООС.

Качество САУ в установившемся режиме характеризуется коэффициентами ошибок. Их можно определить как коэффициенты разложения в ряд Тейлора передаточной функции САУ $W_e(s)$ по ошибке, обусловленной ступенчатым воздействием:

$$W_e(s) = c_0 + c_1s + c_2s^2 + \dots$$

где: c_0 - коэффициент ошибки по положению; c_1 - коэффициент ошибки по скорости; c_2 - коэффициент ошибки по ускорению.

Определим коэффициент ошибки по положению c_0 . Этот коэффициент отражает точность обработки сигнала в системе.

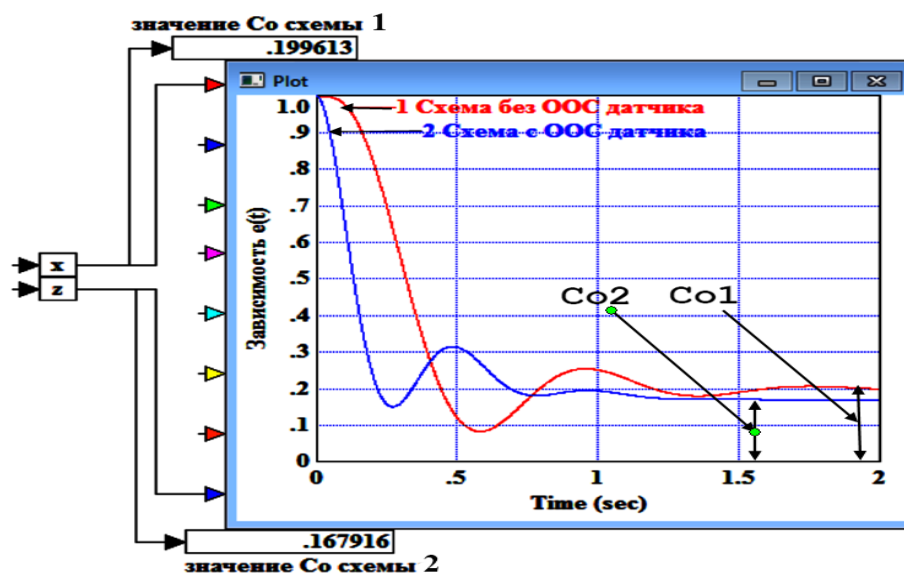


Рис. 6. Сравнение зависимостей ошибки по положению.

Из рис. 6 видно, что в схеме, с включенной ООС датчика, ошибка положения $c_0 = 0.168$, а в схеме без ООС она равна $c_0 = 0.199$.



Таким образом, s_0 в системе с ООС в установившемся режиме уменьшилась на 16 %. В связи с этим возрастает и чувствительность датчика.

Ошибки по скорости и ускорению в данной работе не рассматриваются.

Заключение и выводы.

Таким образом, в работе предложена математическая модель САР частоты вращения дизельного двигателя дизель-генераторной установки, оснащенной регулятором с дополнительной ООС.

Предложена методика выбора коэффициентов усиления и схемы включения ООС, обеспечивающая достижение нужных показателей качества процесса регулирования.

Показано, что применение для САУ СДВС отрицательной обратной связи датчика частоты вращения приводит к значительному уменьшению перерегулирования в переходной характеристике дизеля и сокращению времени переходного процесса, что приводит к улучшению экологических показателей системы в переходных динамических режимах.

Литература

1. Толшин В.И. Форсированные дизели: переходные режимы, регулирование. // - М.: Машиностроение, 1993. - 199 стр.

2. Регулятор частоты вращения с последовательными корректирующими звеньями для дизеля / Е.Ф. Поздняков, В.А. Марков, М.И. Шленов и др. // «Решение энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе»: тез. докл. науч.-тех. конф. «3-и Луканинские чтения». - М.: МАДИ (ГТУ), 2007. - С. 46-48.

3. Разработка математических моделей для расчета переходных процессов транспортных дизелей / В.А. Марков, Е.Е. Полухин, М.И. Шленов и др.: Тезисы доклада на ВНТС в МГТУ им. Н.Э. Баумана // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. - 2007. - № 4. - С. 115.

4. Щербаков В.С., Руппель А.А., Глушеч В.А. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде MATLAB и SIMULINK: Учебное пособие. - Омск: Издательство СибАДИ, 2003. - 160 стр.

5. Клиначёв Н. В. Основы моделирования систем или 7 доменов законов Ома и Кирхгофа: Избранные фрагменты. - Offline версия 3.1. - Челябинск, 2000-2004.

References:

1. Tolshin V.I. Forced diesel engines: transient regimes, regulation. M.: *Mechanical Engineering*, 1993. - 199 s

2. Speed controller with sequential correctors for diesel / EF Pozdnyakov, V.A. Markov, M.I. Shlenov et al., "Solution of energy-ecological problems in the motor transport complex": Tez. doc. nauch.-teh. Conf. "The 3rd Lukanin Readings." - Moscow: MADI (GTU), 2007. - P. 46-48.

3. Development of mathematical models for the calculation of transients of transport diesels / V.A. Markov, E.E. Polukhin, M.I. Shlenov et al. : Abstracts of the report on the VNTS in the MSTU. N.E. Bauman Moscow State University // *Bulletin of the Moscow State Technical University. N.E. Bauman. Mechanical engineering.* - 2007. - No. 4. - P. 115.



4. Shcherbakov VS, Ruppel AA, Glushets VA Basics of modeling of systems of automatic control and electrotechnical systems in the environment of MATLAB and SIMULINK: *Textbook*. - Omsk: Publishing House SibADI, 2003. - 160 p.

5. Klinachev, NV. Fundamentals of modeling systems or 7 domains of Ohm and Kirchhoff's laws: Selected fragments. - *Offline version 3.1*. - Chelyabinsk, 2000-2004

Abstract. *The article deals with the ACS model of a marine diesel engine with negative feedback, encompassing a speed sensor. Transient regimes in the scheme with additional feedback were investigated. A method for selecting the gain factors and the circuit for including negative feedback is developed. The possibility of improving the operating parameters of the marine diesel engine in dynamic modes is shown.*

Key words: *marine diesel engine, ACS model, speed sensor, reverse negative coupling, choice of feedback coefficient, dynamic modes*

Статья отправлена: 18.09.2018 г.

© Лещев В.А.