

Научная статья
УДК 621.431.74-71.001.572
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-89-96>
EDN LDGRIW

Моделирование влияния нагрузки судовых дизелей на работу системы охлаждения

**Михаил Михайлович Зелинский, Николай Геннадьевич Романенко[✉],
Егор Александрович Ненастьев**

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, elmech@astu.org[✉]*

Аннотация. Проводится анализ влияния нагрузки судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) на температурные параметры системы водяного охлаждения СДВС, оборудованного дизелями L32-40 Vis. В системах охлаждения СДВС приводные электродвигатели насосов, подающие охлаждающую воду, работают с практически неизменной скоростью и обеспечивают постоянную подачу воды. Регулирование теплового состояния СДВС производится по отклонению фактической температуры охлаждающей воды от заданных значений с помощью клапанов. Клапаны, перекрывая или открывая магистрали, изменяют соотношение подаваемых в теплообменники потоков охлаждающей воды внешнего и внутреннего контура. Реализуется принцип управления по отклонению основной координаты – температуре охлаждающей воды. Влияние других факторов на работу системы учитывается с запаздыванием. Проведено моделирование работы высокотемпературного контура системы охлаждения главного судового двигателя парама на тренажере машинного отделения TRANSAS TechSim 5000. Получены графические результаты изменения температуры воды охлаждающего контура при увеличении и уменьшении нагрузки на дизели путем изменения заданной скорости хода с различными начальными и конечными значениями при постоянной температуре воды внешнего контура охлаждения. Графики позволили получить числовые и качественные показатели переходных процессов (длительность, колебательность, регулирование, конечные значения температур и др.) для различных начальных условий – диапазонов изменений нагрузки дизелей. Проанализированы полученные графические зависимости, сделаны выводы о режимах отработки системой охлаждения возмущающих воздействий, параметрах переходных процессов и особенностях работы штатной системы управления и контура системы охлаждения главного судового дизеля с точки зрения обеспечения оптимальных показателей работы системы. Установлено, что штатная система управления при некоторых начальных условиях не обеспечивает оптимальные показатели переходных процессов.

Ключевые слова: системы охлаждения судовых двигателей внутреннего сгорания, температура охлаждающей воды, система управления приводными двигателями насосов, моделирование влияния нагрузки, результаты моделирования

Для цитирования: *Зелинский М. М., Романенко Н. Г., Ненастьев Е. А.* Моделирование влияния нагрузки судовых дизелей на работу системы охлаждения // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология.* 2022. № 4. С. 89–96. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-89-96>. EDN LDGRIW.

Original article

Modeling load effect of marine diesel engines on cooling system operation

Michail M. Zelinsky, Nikolay G. Romanenko[✉], Egor A. Nenastiev

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, elmech@astu.org[✉]*

Abstract. The article provides analysis of the load effect of the marine internal combustion engines (ICE) on the temperature parameters of the water cooling system of ICEs equipped with L32-40 Vis diesel engines. In ICE cooling systems the drive motors of the pumps supplying the cooling water operate at a constant speed and provide a constant water supply. The thermal state of a marine diesel ICE is regulated by valves according to deviation of the actual temperature values of cooling water from the preset values. By closing or opening the water lines the valves change the pro-

portion of cooling water flows of the external and internal circuits fed to the heat exchangers. There is implemented the principle of regulating the deviation of the main coordinate - the temperature of the cooling water. The influence of other factors on the operation of the system is taken into account with a delay. Modeling the operation of the high-temperature circuit of the cooling system of the main ship engine of the ferry was carried out using the simulator of the engine room TRANSAS TechSim 5000. There have been obtained graphical results of changing the cooling circuit water temperature with increased and decreased loads on diesel engines by changing the set speed with different initial and final values at a constant water temperature in the external cooling circuit. The graphs helped obtain numerical and qualitative indicators of transient processes (duration, oscillation, overshoot, final temperature values, etc.) for the different initial conditions - ranges of diesel load changes. The resulting graphical dependences are analyzed, conclusions about the modes of working out the disturbing influences by the cooling system, the parameters of transient processes and the features of the operation of the standard control system and the cooling system circuit of the main marine diesel engine in terms of ensuring optimal performance of the system are drawn. It has been inferred that the standard control system under some initial conditions does not provide the optimal parameters of transient processes.

Keywords: cooling systems for marine internal combustion engines, cooling water temperature, pump drive motor control system, load effect modeling, modeling results

For citation: Zelinsky M. M., Romanenko N. G., Nenastiev E. A. Modeling load effect of marine diesel engines on cooling system operation. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2022;4:89-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-4-89-96>. EDN LDGRIW.

Введение

В системах охлаждения судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) насосы, подающие охлаждающую воду, традиционно работают с постоянной подачей. Регулирование теплового состояния СДВС, как правило, производится по фактической температуре охлаждающей воды с помощью клапанов [1]. Клапаны изменяют соотношение потоков охлаждающей воды внешнего и внутреннего контура, подаваемых в теплообменники. Регулирование получается ступенчатым, с задержкой по времени от момента изменения фактической температуры дизеля при изменении нагрузки. Реализуется известный принцип управления по отклонению основной координаты – температуры охлаждающей воды. При этом не обеспечивается учет других важных параметров работы систем охлаждения СДВС. Приводные электродвигатели насосов охлаждающего контура работают на жесткой естественной механической характеристике, с незначительным изменением скорости вращения при колебаниях нагрузки на валах насосов. В таком режиме приводные электродвигатели работают с переменным КПД и коэффициентом мощности, зависящими от нагрузки на вале. Эффективность работы насосов также не поддерживается на оптимальном уровне. Ступенчатое управление также не может обеспечить точность поддержания оптимальной температуры СДВС и охлаждающей воды при изменении условий работы.

Для повышения эффективности работы системы предлагается разработать систему управления частотой вращения приводных электродвигателей насосов – использовать систему «асинхронный двигатель – преобразователь частоты». Систему

управления предлагается разработать с использованием нечеткой логики, с большим числом входных параметров: температура охлаждающей воды в различных участках контуров охлаждения и температура забортной воды, фактическая нагрузка СДВС и др. [2].

Материалы исследования

Для предварительного определения параметров системы управления проведено моделирование влияния нагрузки СДВС на температурные параметры системы водяного охлаждения СДВС, оборудованного дизелями L32-40 Vis. Моделирование произведено на тренажере TRANSAS TechSim 5000. Изменение температуры охлаждающей воды в контурах производится открытием или закрытием электромагнитных клапанов в функции фактической температуры воды внутреннего контура на выходе из дизелей.

Анализ влияния нагрузки на работу системы проводился путем регулирования скорости движения парама с различными начальными и конечными значениями. Полученные результаты моделирования (рис. 1–15) выявили, что система управления контурами охлаждения достаточно быстро отрабатывает при увеличении нагрузки на СДВС – скорости движения парама. В пределах от 15 до 40 секунд обеспечивается установившийся уровень температуры воды из дизеля. На приведенных графиках зеленым цветом обозначена температура на входе в дизель, красным – на выходе из дизеля; вертикальная ось графиков представлена в градусах Цельсия, горизонтальная ось обозначает время в секундах, минутах, часах.

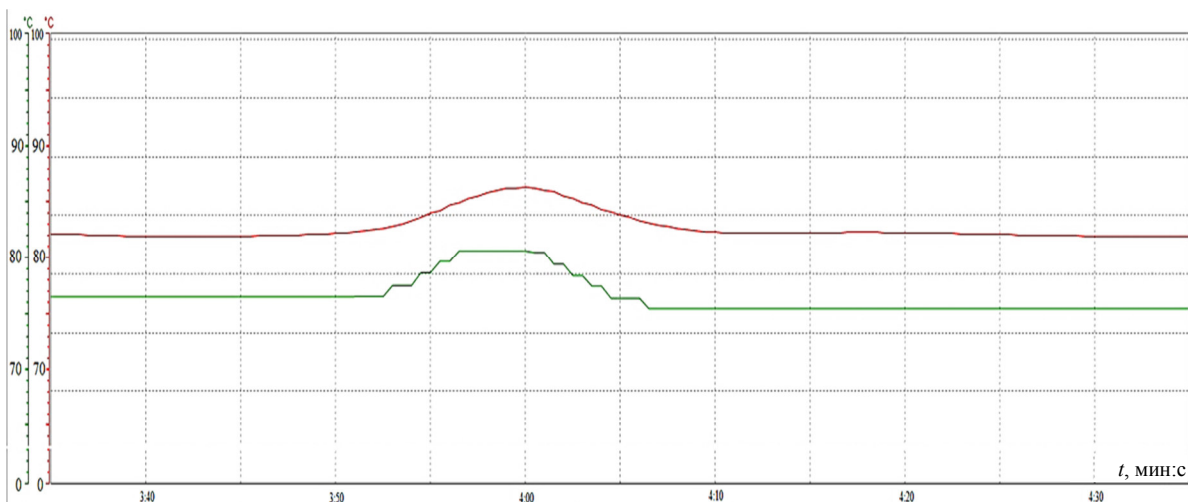


Рис. 1. Результаты моделирования при увеличении скорости с 14,8 до 16,7 км/ч

Fig. 1. Simulation results with increasing speed from 14.8 to 16.7 km/h

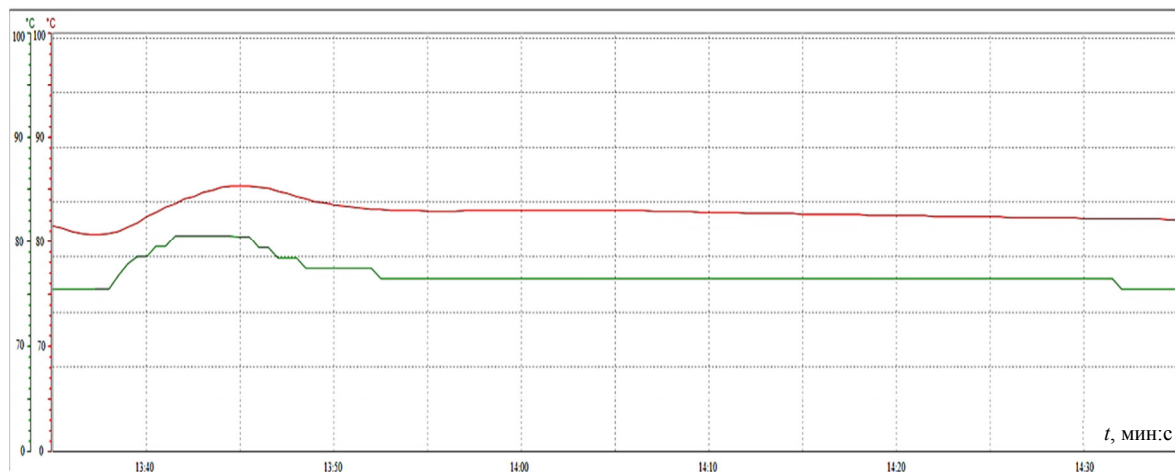


Рис. 2. Результаты моделирования при увеличении скорости с 13 до 16,7 км/ч

Fig. 2. Simulation results with increasing speed from 13 to 16.7 km/h

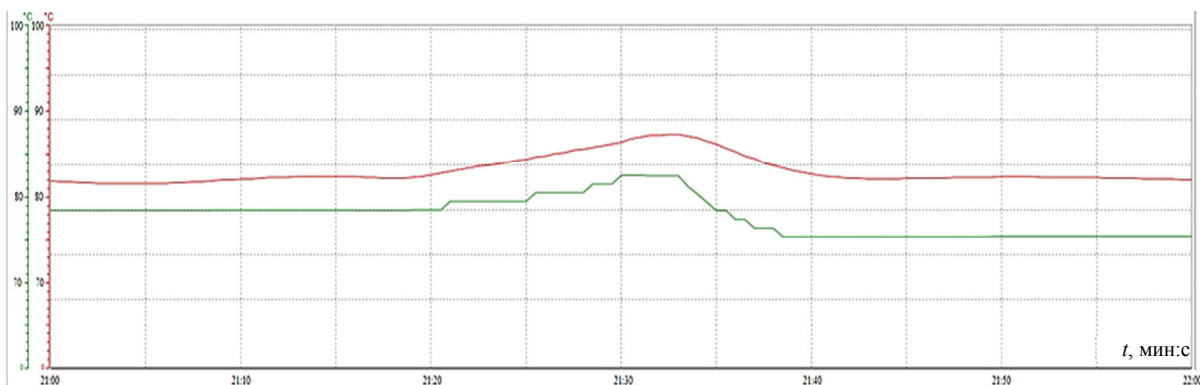


Рис. 3. Результаты моделирования при увеличении скорости с 11,11 до 16,7 км/ч

Fig. 3. Simulation results with increasing speed from 11.11 to 16.7 km/h

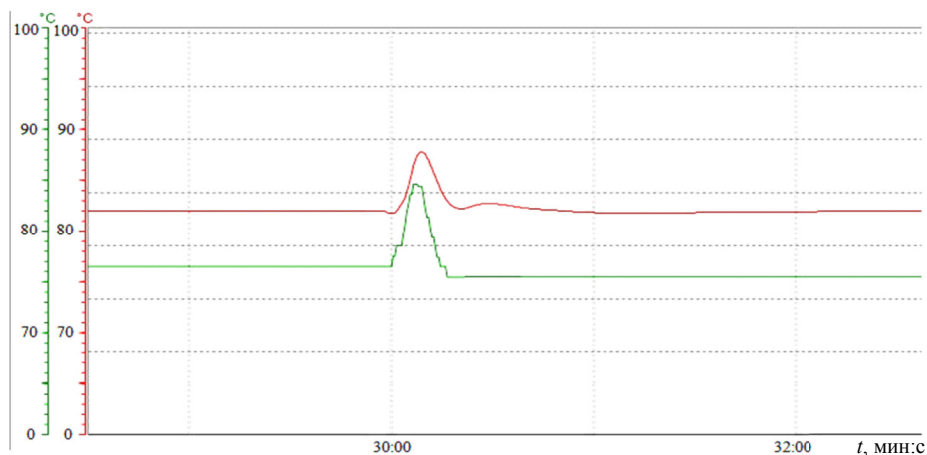


Рис. 4. Результаты моделирования при увеличении скорости с 9,26 до 16,7 км/ч

Fig. 4. Simulation results with increasing speed from 9.26 to 16.7 km/h

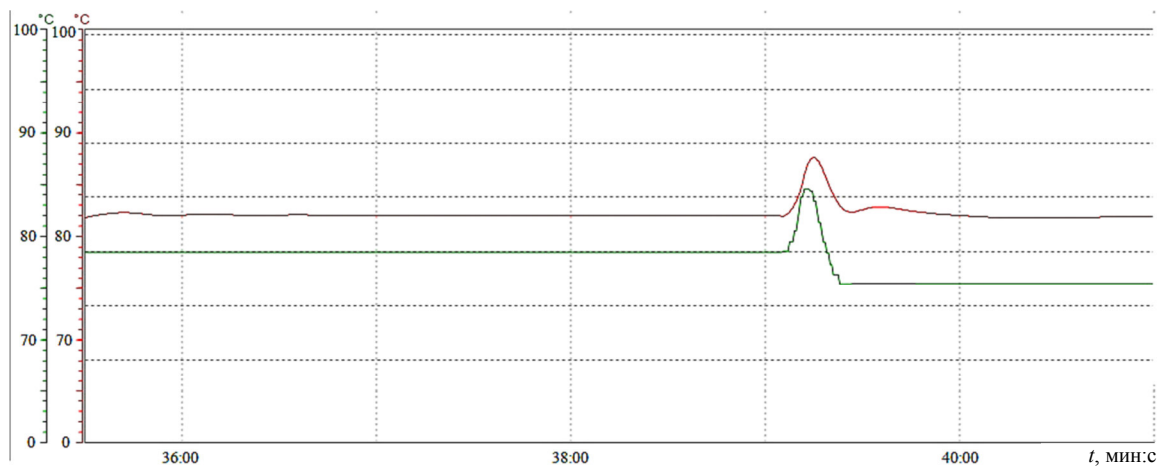


Рис. 5. Результаты моделирования при увеличении скорости с 7,41 до 16,7 км/ч

Fig. 5. Simulation results with increasing speed from 7.41 to 16.7 km/h



Рис. 6. Результаты моделирования при увеличении скорости с 5,56 до 16,7 км/ч

Fig. 6. Simulation results with increasing speed from 5.56 to 16.7 km/h

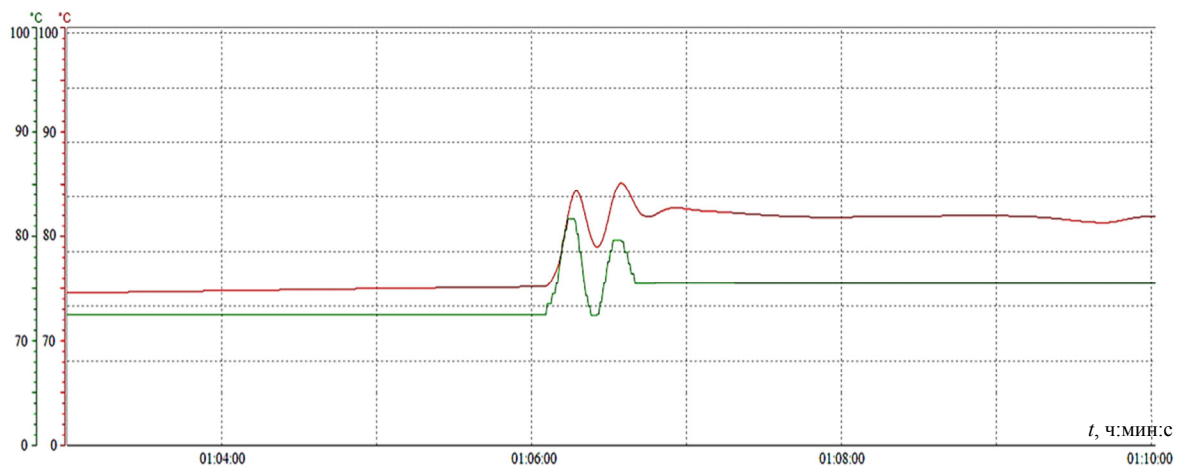


Рис. 7. Результаты моделирования при увеличении скорости с 3,7 до 16,7 км/ч

Fig. 7. Simulation results with increasing speed from 3.7 to 16.7 km/h

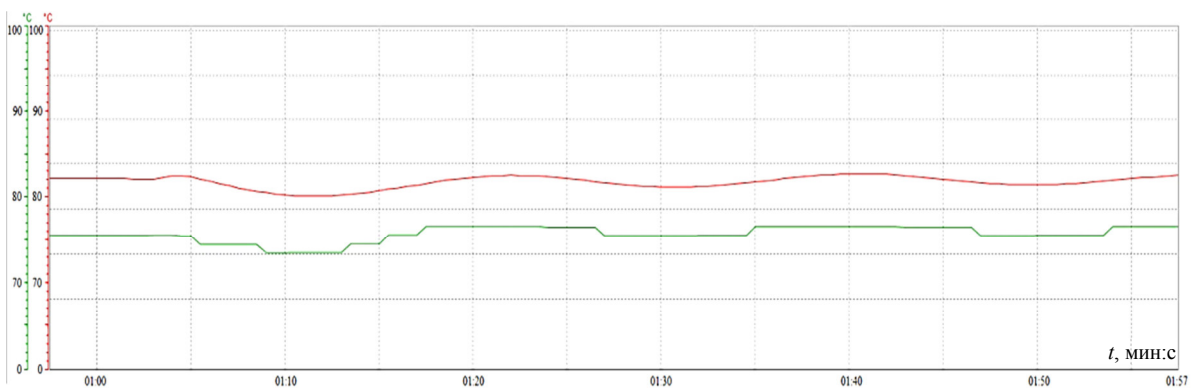


Рис. 8. Результаты моделирования при уменьшении скорости с 16,7 до 14,8 км/ч

Fig. 8. Simulation results when the speed decreases from 16.7 to 14.8 km/h

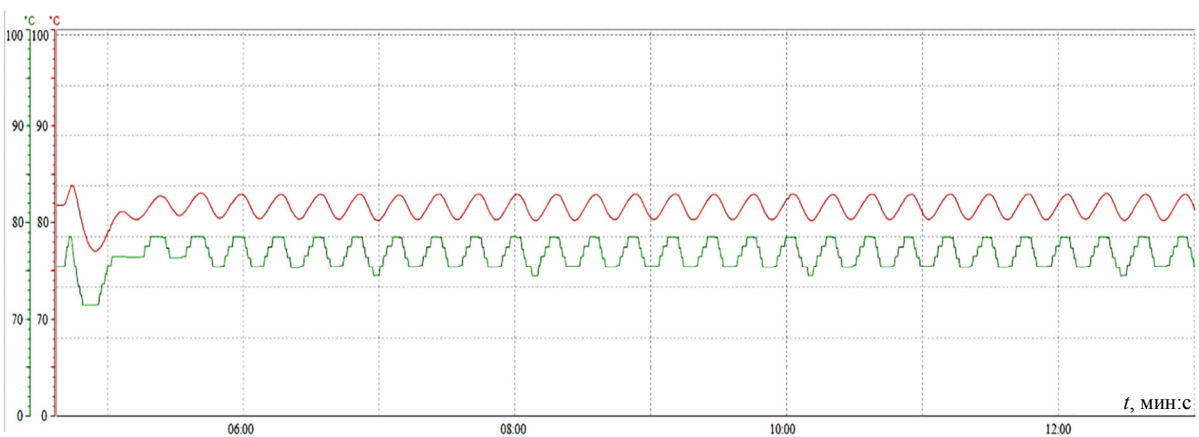


Рис. 9. Результаты моделирования при уменьшении скорости с 16,7 до 13 км/ч

Fig. 9. Simulation results with decreasing speed from 16.7 to 13 km/h

Зелинский М. М., Романенко Н. Г., Ненашев Е. А. Моделирование влияния нагрузки судовых дизелей на работу системы охлаждения

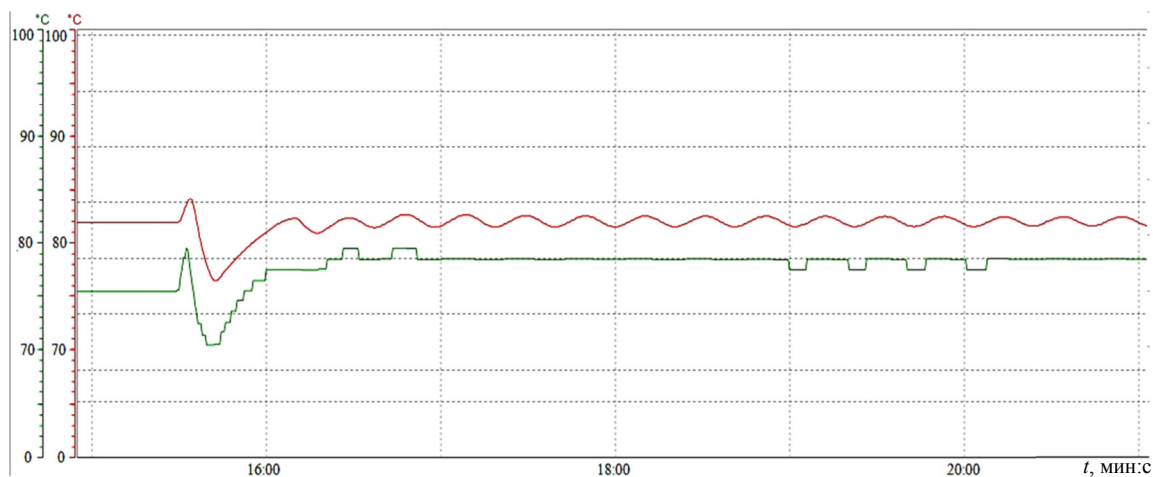


Рис. 10. Результаты моделирования при уменьшении скорости с 16,7 до 11,11 км/ч

Fig. 10. Simulation results when speed decreases from 16.7 to 11.11 km/h

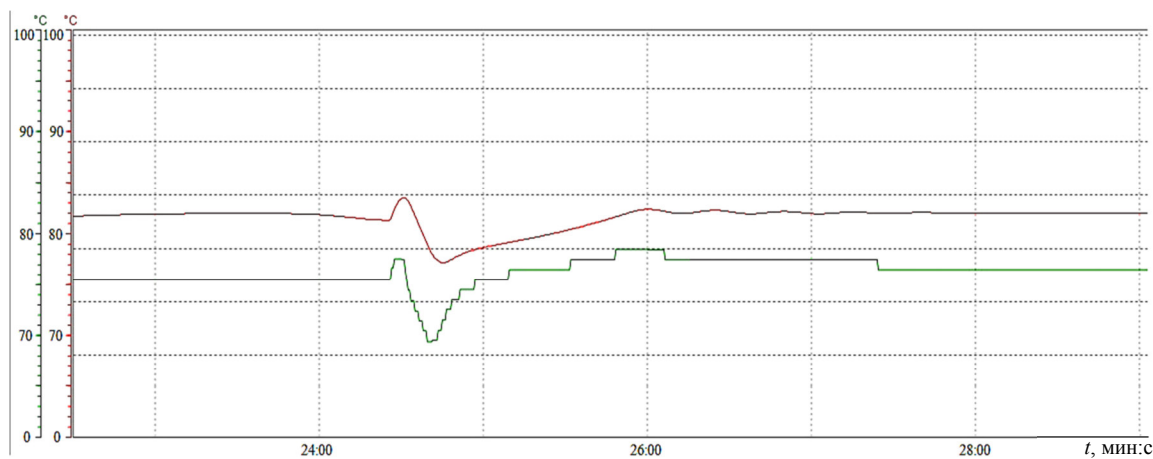


Рис. 11. Результаты моделирования при уменьшении скорости с 16,7 до 9,26 км/ч

Fig. 11. Simulation results with decreasing speed from 16.7 to 9.26 km/h

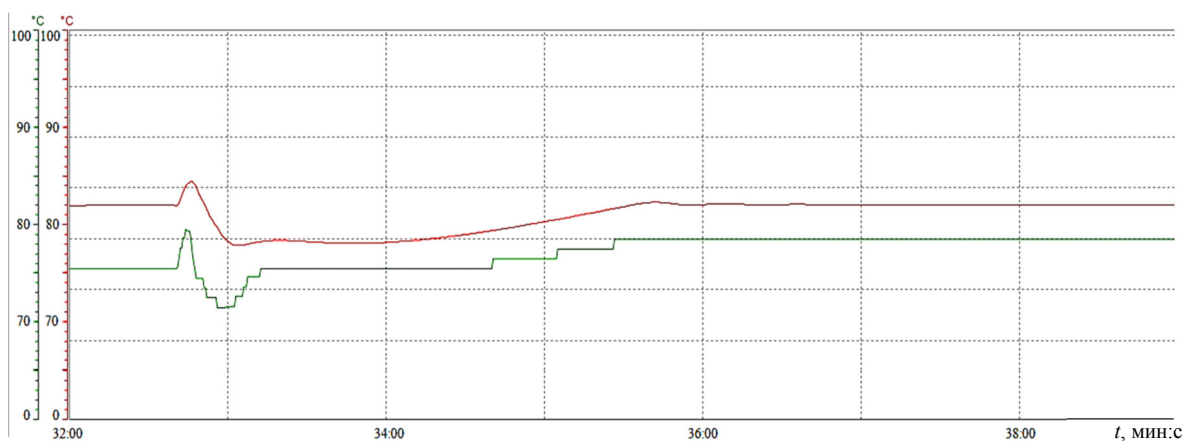


Рис. 12. Результаты моделирования при уменьшении скорости с 16,7 до 7,41 км/ч

Fig. 12. Simulation results with decreasing speed from 16.7 to 7.41 km/h

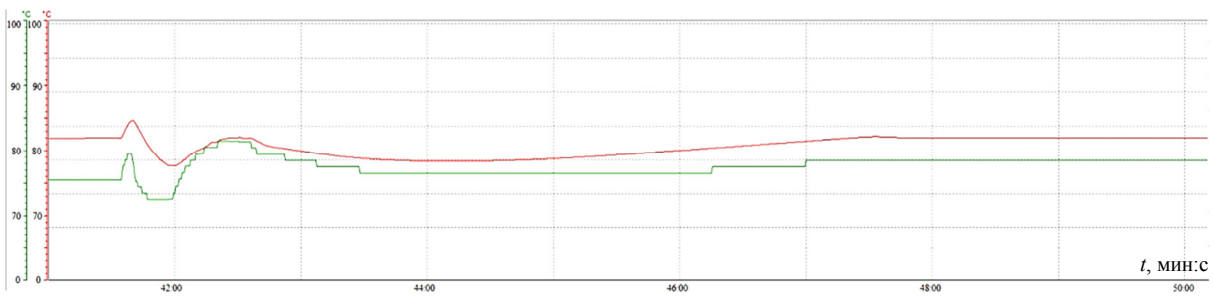


Рис. 13. Результаты моделирования при уменьшении скорости с 16,7 до 5,56 км/ч

Fig. 13. Simulation results with decreasing speed from 16.7 to 5.56 km/h

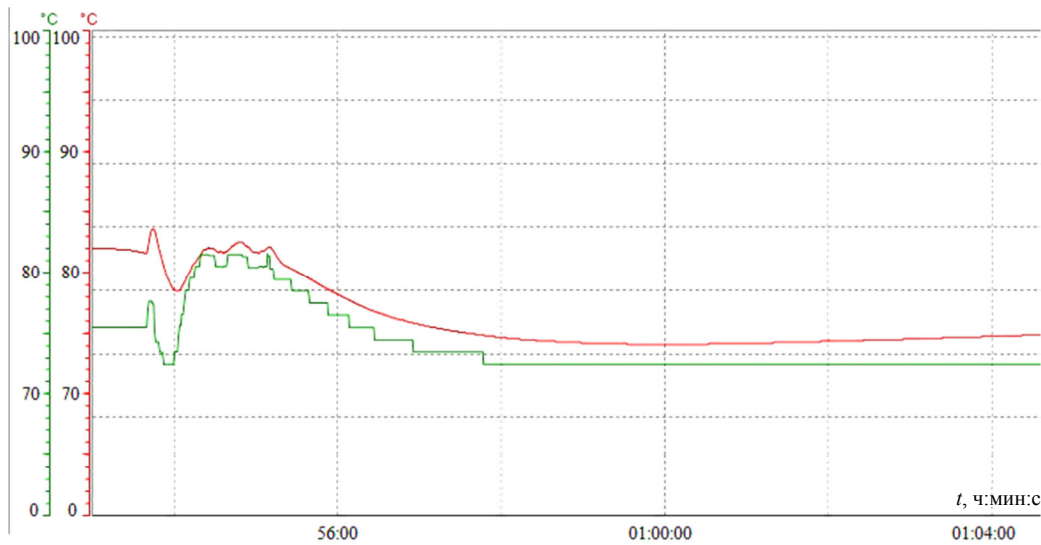


Рис. 14. Результаты моделирования при уменьшении скорости с 16,7 до 3,7 км/ч

Fig. 14. Simulation results with decreasing speed from 16.7 to 3.7 km/h



Рис. 15. Результаты моделирования при уменьшении скорости с 16,7 до 1,8 км/ч

Fig. 15. Simulation results with decreasing speed from 16.7 to 1.8 km/h

Представленные на рисунках результаты моделирования позволяют оценить качество переходных процессов системы охлаждения при изменениях нагрузки на дизель.

Выводы

1. При снижении нагрузки на СДВС продолжительность переходного процесса выхода температуры охлаждающей воды на входе и выходе дизеля превышает продолжительность переходного процесса при увеличении нагрузки на СДВС. Отмечено изменение величин температур охлаждающей воды на входе и выходе из дизеля (рис. 8–15).

2. Диапазон изменения температуры воды внутреннего контура при изменениях нагрузки находится в пределах 1–10 °С.

3. Время выхода температуры воды охлаждающего контура на новые установившиеся значения в большинстве опытов составляет несколько минут.

4. На графиках (рис. 8–10) переходной процесс затягивается и становится колебательным.

5. В большинстве опытов наблюдается отклонение нового значения температуры воды охлаждающего контура от исходного значения.

Таким образом, существующая система управления контура охлаждения СДВС при изменениях нагрузки имеет ряд недостатков: колебательность для некоторых режимов, ступенчатость регулирования, запаздывание и отклонения установившихся значений температуры воды охлаждающего контура от начальных.

Список источников

1. Покусаев М. Н., Трифонов А. В., Костыренко В. А. Разработка системы охлаждения судовых малоразмерных дизелей, работающих при различных температурах забортной воды в условиях лаборатории // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2022. № 2. С. 51–57.

2. Головки С. В., Кулахметов Р. Ф., Романенко Н. Г. Повышение энергоэффективности систем охлаждения

судовых двигателей внутреннего сгорания // Наука и практика – 2020: материалы Всерос. междисциплинар. науч. конф. (Астрахань, 19–30 октября 2020 г.). Астрахань: Изд-во АГТУ, 2020. С. 93. 1 CD-диск. URL: <http://astu.org/Content/Page/5833> (дата обращения: 20.04.2021). № гос. регистрации 0322100459.

References

1. Pokusaev M. N., Trifonov A. V., Kostyrenko V. A. Razrabotka sistemy okhlazhdeniia sudovykh malorazmernykh dizelei, rabotaiushchikh pri razlichnykh temperaturakh zabortnoi vody v usloviakh laboratorii [Developing cooling system for marine small-sized diesel engines operating at different sea water temperatures in laboratory conditions]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2022, no. 2, pp. 51–57.

2. Golovko S. V., Kulakhmetov R. F., Romanenko N. G. Povyshenie energoeffektivnosti sistem okhlazhdeniia sudovykh dvigatelei vnutrennego sgoraniia. *Nauka i praktika – 2020 [Improving energy efficiency of cooling systems for ship internal combustion engines. Science and practice - 2020]. Materialy Vserossiiskoi mezhdistsiplinarnoi nauchnoi konferentsii (Astrakhan', 19–30 oktiabria 2020 g.)*. Astrakhan', Izd-vo AGTU, 2020. P. 93. 1 CD-disk. Available at: <http://astu.org/Content/Page/5833> (accessed: 20.04.2021). № gosudarstvennoi registratsii 0322100459.

Статья поступила в редакцию 23.09.2022; одобрена после рецензирования 17.10.2022; принята к публикации 21.10.2022
The article was submitted 23.09.2022; approved after reviewing 17.10.2022; accepted for publication 21.10.2022

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Михайлович Зелинский – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры электрооборудования и автоматизации судов; Астраханский государственный технический университет; elmech@astu.org

Michail M. Zelinsky – Candidate of Sciences in Technology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Electrical Equipment and Automatic of Ship; Astrakhan State Technical University; elmech@astu.org

Николай Геннадьевич Романенко – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры электрооборудования и автоматизации судов; Астраханский государственный технический университет; elmech@astu.org

Nikolay G. Romanenko – Candidate of Sciences in Technology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Electrical Equipment and Automatic of Ship; Astrakhan State Technical University; elmech@astu.org

Егор Александрович Ненастьев – магистрант кафедры электрооборудования и автоматизации судов; Астраханский государственный технический университет; nenastev99@mail.ru

Egor A. Nenastiev – Master's Course Student of the Department of Electrical Equipment and Automatic of Ship; Astrakhan State Technical University; nenastev99@mail.ru

