

Оригинальное исследование

УДК 621.43 6.3

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_03_303

EDN: QHFENA

Исследование влияния формы впускного клапана с различным числом спиральных направляющих (лопастей), при изменении температуры в цилиндре судового малоразмерного двигателя Ч8,5/11

А.З. Курбанов, Н.М. Вагабов, Н.К. Санаев, В.В. Егоров

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Обзор литературы показывает, что изучение распределения температуры и влияния давления является важной основой для проектирования наиболее износостойких и долговечных клапанов, и существенно влияет на выбор материалов для их изготовления. Изучение распределения температуры внутри клапанов при давлении, оказываемом на них во время работы двигателя, экспериментально является очень трудоемкой и затратной задачей. Такие расчеты необходимо выполнять с помощью программного обеспечения, которое позволяет учесть определенные прикладываемые нагрузки в зависимости от угла поворота коленчатого вала двигателя на исследуемом образце.

Цель работы. Объектом исследования являлся клапан судового малоразмерного двигателя заводского изготовления и такие же клапаны с измененной конструкцией, добавлением спиральных направляющих (ширм, лопастей), для изучения влияния температуры, оказываемых на них в зависимости от поворота коленчатого вала. При этом материал конструкции оставался однородным во всех исследуемых клапанах.

Методика. Для выполнения поставленных задач был использован метод конечных элементов, реализованный в программе Ansys, с помощью которой был проведен нестационарный термомеханический расчет клапанов различных конструкций с однородным материалом на примере клапана судового малоразмерного двигателя Ч8,5-11, с последующим анализом полученных результатов, их изучение и сравнение.

Для удобства решения исследование было разбито на две части. В данной части проводятся изучение влияния температуры в процессе работы судового малоразмерного двигателя Ч8,5/11, в будущей, изученные температурные поля будут передаваться в испытываемое клапанами давление в цилиндре судового малоразмерного двигателя.

Результаты. На данном этапе при использовании метода конечных элементов, были построены и визуализированы температурные поля клапанов различных конструкций, рассчитана плотность теплового потока, а также проанализировано значение имеющихся на клапанах спиральных направляющих в зависимости от температуры. Поскольку расчет был нестационарным, для исследования судового малоразмерного двигателя были выбраны максимальные испытываемые температурные напряжения, действующие на клапаны в процессе эксплуатации.

Выводы. В результате проведенного моделирования были получены данные по распределению температуры внутри тарелок исследуемых клапанов, из стали 40Х, которую имеется возможность просмотреть в любой момент исследуемого интервала. При изучении теплового потока в клапанах разных конструкций было выявлено, что тепловой поток увеличился в клапане с 3 лопастями = 283,12 Вт/мм², а в конструкции с 6 лопастями = 281,49 Вт/мм².

Ключевые слова: Ansys; температура; напряжения; метод конечных элементов; качество; производительность; моделирование; проектирование; судовый; двигатель; клапан; лопасть; судовый малоразмерный двигатель.

Как цитировать

Курбанов А.З., Вагабов Н.М., Санаев Н.К., Егоров В.В. Исследование влияния формы впускного клапана с различным числом спиральных направляющих (лопастей), при изменении температуры в цилиндре судового малоразмерного двигателя Ч8,5/11 // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2025. Т. 4, № 3. С. 303–316. DOI: 10.52899/24141437_2025_03_303 EDN: QHFENA

Original Study Article

DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2025_03_303

EDN: QHFENA

Effect of Shape of Intake Valve With Different Number of Spiral Guides (Blades) When Changing Temperature in the Cylinder of Small-Sized Marine Engine Ch8.5/11

Ali Z. Kurbanov, Nurulla M. Vagabov, Nadir K. Sanaev, Valentin V. Egorov

Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: A review of the literature shows that the study of temperature distribution and the effect of pressure is an important basis for the design of the most wear-resistant and durable valves and significantly affects the choice of materials. Studying the temperature distribution inside valves at the pressure exerted on them during engine operation is experimentally a very time-consuming and demanding task. It is required to perform such calculations with software allowing to consider certain loads based the crankshaft rotation angle of the test sample.

AIM: The object of the study was a valve of a factory-built small-sized marine engine and the same valves with a modified design and added spiral guides (screens, blades) to study the effect of temperature exerted on them depending on the crankshaft rotation. All studied valves had the homogeneous structural material.

METHODS: To conduct the study, we used the finite element method implemented in the Ansys software, where a non-stationary thermomechanical calculation of valves with different designs made of homogeneous material was performed using the small-sized marine engine Ch8.5-11 valve with the subsequent analysis of the results, their study, and comparison.

For the convenience of the solution, the study was divided into two parts. In this part, the influence of temperature during the operation of the small-sized marine engine Ch8.5/11 is studied; the future study will involve the transfer of the studied temperature fields to the pressure in the small-sized marine engine cylinder tested by the valves.

RESULTS: At this stage, the finite element method was used to build and visualize the temperature fields of valves with different designs, to calculate the heat flux density, and to analyze the value of the spiral guides installed on the valves in relation to the temperature. As the calculation was non-stationary, we selected the highest test temperature stresses exerted on the valves during operation for the small-sized marine engine study.

CONCLUSION: The simulation allowed to collect data on the temperature distribution inside valve trays of the studied 40X steel valves, which can be viewed at any time of the studied interval. The study of the heat flux in valves of different designs revealed that the heat flux increased in the valve with 3 blades (283.12 W/mm²) and the heat flux in the design with 6 blades was 281.49 W/mm².

Keywords: Ansys; temperature; stresses; finite element method; quality; performance; simulation; design; marine; engine; valve; blade; small-sized marine engine.

To cite this article

Kurbanov AZ, Vagabov NM, Sanaev NK, Egorov VV. Effect of Shape of Intake Valve With Different Number of Spiral Guides (Blades) When Changing Temperature in the Cylinder of Small-Sized Marine Engine Ch8.5/11. *Transactions of the Saint Petersburg State Marine Technical University*. 2025;4(3):303–316. DOI: 10.52899/24141437_2025_03_303 EDN: QHFENA

ВВЕДЕНИЕ

В современных конструкциях судовых малоразмерных дизелей (СМД), актуальной задачей является поиск способов получения наиболее качественной смеси и совершенствования деталей, с целью повышения их экономичности, долговечности, экологичности. Все эти и многие другие факторы напрямую зависят от того какой материал и детали используют конструкторы при создании двигателя. Изменение таких параметров как форма камер сгорания (КС), размеры КС, её расположение, направление движение впрыскиваемого топлива и воздушного потока, изменение конструкции головок цилиндра (ГЦ) с целью завихрения воздушного заряда, изменение размера тарелки всасывающего клапана для более полного насыщения цилиндров и большей устойчивости к температуре и давлению испытываемом при эксплуатации или увеличение их количества, влекут за собой не только изменение отдельных конструктивных элементов, но и изменение конструкции самого двигателя, как правило, это изменение формы и размеров головки цилиндров (ГЦ), блок картера, а впоследствии и других узлов, что в большинстве случаев является нецелесообразным и ведёт к их удорожанию. Ещё одним недостатком является то, что все конструкции ГЦ закручивают воздушный поток до входа воздуха через клапан, а при поступлении его в цилиндр поток в некоторой степени выравнивается, проходя через узкое пространство между фаской и седлом. Для этого необходимо искать пути решения изменения конструкции отдельных деталей, уже приспособленных для данного типа двигателей, не требующих переоборудования всего двигателя и высоких затрат на их изготовление. Одним из таких СМД является модельный ряд 4Ч8,5/11, 4Ч9,5/11, 6Ч. Пространство для размещения как всасывающих, так и выхлопных клапанов ограничено диаметрными размерами втулок цилиндров, что в данном случае не позволяет увеличить диаметр тарелки клапана, увеличить их количество, а также изменить их расположение. Наиболее выгодным вариантом в данном случае будет изменение конструкции впускного клапана с целью создания не только необходимого благоприятного воздушного потока на входе в цилиндр для получения качественной смеси, но и для повышения выносливости, температуростойкости клапанов при работе СМД. Для того чтобы изменить конструкцию клапанов необходимо задаться целью о целесообразности использования видоизменённого клапана и влиянии на него изменения температуры и давления в цилиндре СМД, чтобы выбрать наиболее выгодную модель.

В этой связи требуется проведение исследований, связанных с изучением нагрузок, испытываемых клапанами при вращении коленчатого вала. Учитывая востребованность СМД Российского производства в речном и морском флоте, базовой моделью для исследования был выбран СМД 4Ч8,5/11.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В силу того, что существующая технология не обеспечивает точную картину распределения температурного поля внутри тарелок клапанов различных конструкций, воздействующего на деталь, существует необходимость провести численные расчёты с использованием метода конечных элементов в программном комплексе Ansys. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать 3D модели клапанов разных конструкций для их дальнейшего анализа с применением метода конечных элементов.
2. Провести тепловой расчёт исследуемого СМД, с использованием метода Гриневецкого–Мазинга, с выводом диаграмм распределения температуры и давления.
3. Создать качественную сеточную модель конечных элементов на исследуемых клапанах.
4. Установить необходимые граничные условия, исходя из диаграмм полученных при тепловом расчёте СМД 4Ч8,5/11, для проведения нестационарного термомеханического расчёта.
5. Определить распределение температурного поля внутри клапанов и его влияния на клапаны разных конструкций.
6. Рассчитать плотность теплового потока.

Для удобства решения задач исследование было разбито на две части. В данной работе изучено влияние температуры в процессе работы СМД 4Ч8,5/11. В будущем, изученные температурные поля будут учитываться расчете давления, испытываемого клапанами в цилиндре СМД.

МЕТОДЫ

При проведении исследований применялся метод конечных элементов, рассчитанный в программе «Ansys».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Литературный обзор состояния клапанов в процессе работы судовых двигателей

Клапаны в газораспределительном механизме судовых двигателей (СД) работают в условиях повышенной температуры и давления, в среднем температура клапанов может достигать 550/650°C, а в высокофорсированных двигателях 750/800°C. При таких температурах конструкция клапана подвержена высокотемпературной коррозии, [1] короблению тарелки клапана в разных направлениях и как следствие, нарушению посадочного конуса, что приводит к увеличению зазора между седлом и посадочным пояском. Для впускного клапана указанное обстоятельство означает снижение степени сжатия в цилиндре двигателя, утрату работоспособности детали и газораспределительного механизма. Известны

работы [2] по изучению влияния температуры и давления на впускной и выпускной клапан, в основном все исследования проводятся в программных комплексах (ПК) учитывая, что экспериментально создать карту распределения температурного поля в клапане очень трудоёмкая задача так же, как и воздействие давления и расчёт предельно допустимых нагрузок. Как правило, указанные задачи трудоёмки и требуют не только дополнительных средств, но и наличие лабораторного оборудования. К примеру, в статье [3] авторы для изучения влияния высоких температур на микроструктуру клапана используют сканирующий электронный микроскоп. При помощи которого анализировали структуру изношенных и новых деталей. В работе [4] авторы изучают термические повреждения впускных клапанов в программе «Lotus Engine Simulation», для выполнения расчёта задавались действительные параметры исследуемого ДВС и размеры клапанов. В статье [5] изучается воздействие на впускной и выпускной клапаны коэффициента теплопередачи и температуры, в зависимости от оборотов коленчатого вала с применением ПО 1D Ricardo Wave, где моделировался двигатель для получения происходящих в нём мгновенных термодинамических параметров, которые трудно измерить экспериментально.

Обзор литературы показывает, что изучение распределения температуры и воздействия давления является важной основой для целей проектирования наиболее износостойких и долговечных клапанов и выбора материалов при их изготовлении. В научных трудах реже встречаются статьи с изучением различных видоизменённых форм конструкций клапанов. К примеру, работа [2], где экспериментально изучен клапан с винтовыми направляющими (лопастями), которые выполнены на внешней

стороне тарелки клапана и способствуют, не только закручиванию поступающего в цилиндр воздушного заряда, но и более плавному распределению температуры на тарелке клапана, что и описано в проведённом эксперименте на примере судового малоразмерного двигателя (СМД) 4Ч-9,5/11.

В статьях [6, 7] также описан эксперимент в ПК «Ansys», при помощи CFD моделирования, о влиянии различных размеров ширм, спиральных направляющих (лопастей), расположенных на внешней стороне тарелки клапана и их анализ на вихревое число в цилиндре двигателя, коэффициент завихрений, кинетической энергии турбулентности.

Таким образом, целью данной работы является исследование влияния формы впускного клапана с различным количеством спиральных направляющих (лопастей) на испытываемую им температуру в цилиндре СМД, в зависимости от угла поворота коленчатого вала (ПКВ), без изменения материала, из которого изготовлен клапан.

Методы исследования и материал впускных клапанов

Объектом исследования являлся впускной клапан СМД Ч8,5/11 (рис. 1).

Для изготовления впускных клапанов, которые испытывают сравнительно, невысокие температуры по сравнению с выпускными используют в основном легированные стали [8] такие, как 40Х, 40ХН, 40ХНМА, 37ХС и др.

При проведении исследования клапанов разных конструкций испытывались клапаны из стали марки 40Х, наиболее распространённую и подходящую для поставленной цели. В (табл. 1 и 2) приведены основные физические и химические параметры данной стали.

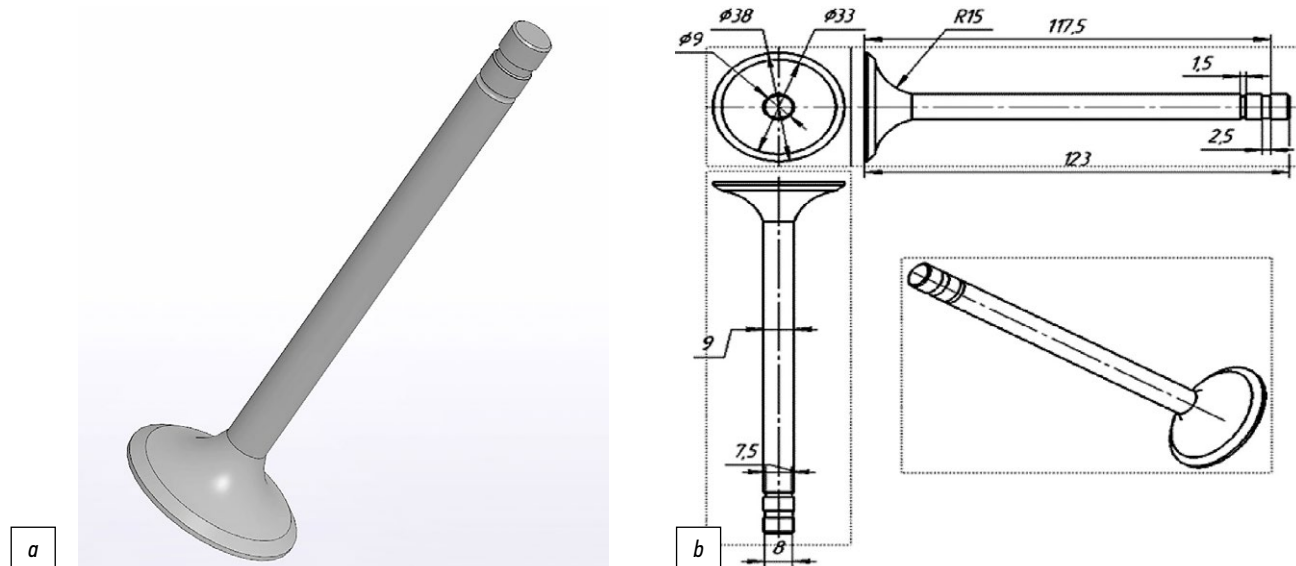


Рис. 1. Общий вид исследуемого клапана судового малоразмерного двигателя Ч8,5/11: *a* — представленный в 3D модели; *b* — основные размеры клапана [8].

Fig. 1. General view of the studied valve of the small-sized marine engine Ch8.5/11: *a*, 3D model; *b*, main dimensions of the valve [8].

СМД типов 48,5/11, 49,5/11, 410,5/13, с рядным расположением и количеством цилиндров 2, 4, и 6, соответственно, номинальной частотой вращения коленчатого вала от 1000 до 1800 оборотов. Диапазон мощностей от 8 до 65 кВт, без наддува. Имели широкое применение в качестве вспомогательных и являющихся базовыми двигателями для главных энергетических установок рабочих и спасательных шлюпок, рыбопромысловых ботов и служебных катеров [9]. За время своей эксплуатации эти модели зарекомендовали себя с положительной стороны и по работоспособности, и по производительности, некоторые СМД данного класса, используются и работают сейчас. Технические данные исследуемого СМД представлены в табл. 3 [8].

Существует достаточно много методов решения задач теплопроводности и статике, наиболее распространёнными являются аналитические и численные, учитывая, что современный уровень вычислительной техники позволяет использовать численные методы практически для любых задач как теплопроводности, так и статических расчётов, в том числе и нестационарных [10], то в качестве метода исследования влияния формы впускного клапана СМД на испытываемую им температуру, в зависимости от угла ПКВ, был использован метод конечных элементов (МКЭ) в ПК Ansys.

Для решения задачи нахождения температурного поля в твёрдом теле (металл 40Х), в качестве закона теплопроводности использовался закон Фурье [11]:

$$\vec{g} = -\lambda \text{grad}(T) = -\lambda \vec{n} \frac{\partial T}{\partial n}, \quad (1)$$

где $\vec{g}$ — вектор плотности теплового потока, λ — коэффициент теплопроводности, $\vec{n}$ — вектор нормали к изотермической поверхности, $\partial T / \partial n$ — производная по направлению. Знак «-» в формуле обусловлен тем, что $\text{grad}(T)$ направлен в сторону возрастания температуры, а тепловой поток распространяется из области с большей в область с меньшей температурой.

В программе использовался нестационарный термомеханический анализ (Thermo-Mechanical Analysis, ТМА) клапанов различных конструкций. В качестве временного интервала и нагрузок на данном этапе, был выбран угол ПКВ при повышении температуры исследуемого СМД 44-8,5/11 из полученной диаграммы (рис. 2).

Исследование проводилось поэтапно, для наиболее точного определения граничных условий задания температуры при номинальных оборотах двигателя $n=1500$ (1/мин), необходимо было произвести тепловой расчёт исследуемого двигателя с использованием метода

Таблица 1. Физические свойства стали 40Х, в зависимости от изменения температуры

Table 1. Physical properties of steel 40X in relation to temperature changes

Температура, °С	Плотность ρ , кг/м ³	Модуль упругости, $E \cdot 10^{-5}$, МПа	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/К	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Удельная теплоёмкость C , Дж/(кг·К)	Удельное электросопротивление $R \cdot 10^{-9}$, Ом·м
20	7820	2,14	—	—	—	210
100	7800	2,11	11,9	46	466	285
200	7770	2,06	12,5	42,7	508	346
300	7740	2,03	13,2	42,3	529	425
400	7700	1,85	13,8	38,5	563	528
500	7670	1,76	14,1	35,6	592	642
600	7630	1,64	14,4	31,9	622	780
700	7590	1,43	14,6	28,8	634	936
800	7610	1,32	—	26	664	1100
900	7560	—	—	26,7	—	1140
1000	7510	—	—	28	—	1170
1100	7470	—	—	28,8	—	1200
1200	7430	—	—	—	—	1230

Таблица 2. Химический состав стали 40Х

Table 2. Chemical composition of steel 40X

Углерод	Кремний	Марганец	Сера	Фосфор	Никель	Хром	Медь	Железо
C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Fe
0,36–0,44	0,17–0,37	0,50–0,80	до 0,035	до 0,035	до 0,3	0,8–0,11	до 0,3	~97

Таблица 3. Исходные данные исследуемого судового малоразмерного двигателя Ч8,5/11**Table 3.** Initial specifications of the studied small-sized marine engine Ch8.5/11

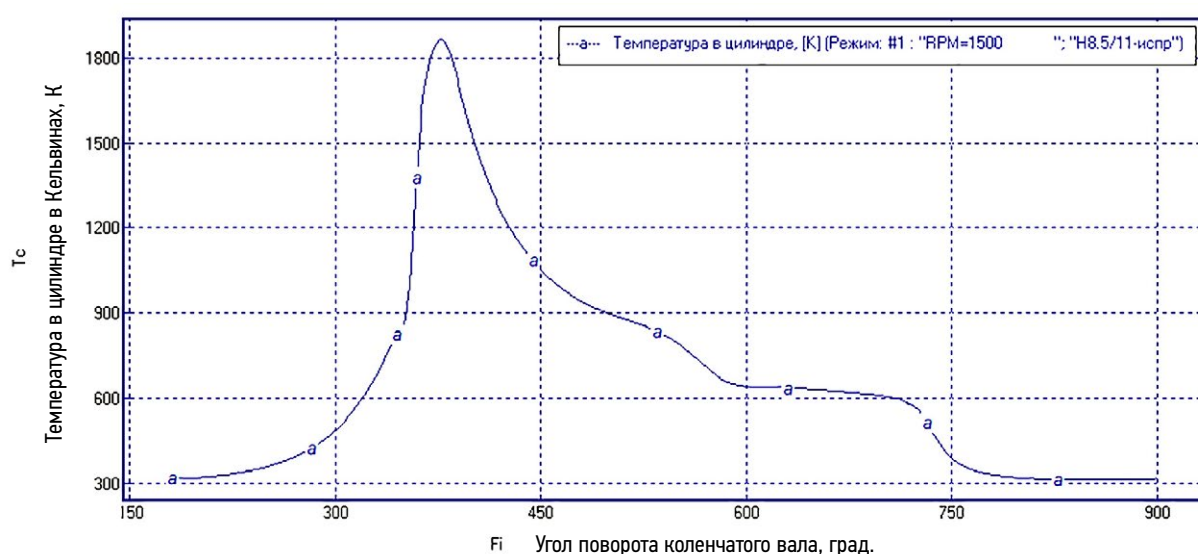
Тип двигателя	Дизельный, поршневой, тронковый, бескомпрессорный
Число тактов	4
Порядок работы цилиндров	1-5-3-6-2-4
Расположение цилиндров	Рядное
Число цилиндров	4
Диаметр цилиндра, мм	85
Ход поршня, мм	110
Средняя скорость поршня, м/с	5,5
Степень сжатия	17
Давление сжатия, кг/см ²	33–41
Максимальное давление сгорания, кг/см ²	65–75
Система охлаждения	Жидкостная
Коэффициент избытка воздуха	1,43 для дизелей без наддува
Номинальная мощность л.с./ кВт	26 л.с./19кВт
Частота вращения вала при номинальной мощности	1500
Минимальная частота вращения коленчатого вала на режиме холостого хода	800

Гриневецкого-Мазинга, который был рассчитан в программе Дизель-РК. Где так же была получена индикаторная диаграмма работы СМД 4Ч-8,5/11 (см. рис. 2), с целью дальнейшего использования полученных параметров температуры и приложения таких же нагрузок (условий) на испытываемый клапан в зависимости от частоты коленчатого вала.

Для того чтобы интегрировать данные, полученные из рис. 2, в ПК Ansys предварительно необходимо перевести температуру в «Кельвинах», в температуру T в «Цельсия»,

и углы ПКВ в секунды, т.к. Ansys рассчитывает временной промежуток в секундах, температуру в «Цельсия» (рис. 3).

Следующим условием было построение 3D моделей клапанов с изменёнными конструкциями, моделирование проводилось в программе Компас 3D, использовалась модель заводского клапана (рис. 1) и клапаны таких же размеров и материалов с добавлением винтовых направляющих (лопастей) с количеством 3, 6. (рис. 4 и 5), с последующим интегрированием в среду Ansys для проведения нестационарного термомеханического анализа.

**Рис. 2.** Температура в цилиндре судового малоразмерного двигателя 4Ч-8,5/11 в кельвинах (К) в зависимости от поворота коленчатого вала в градусах, полученная в программе Дизель РК.**Fig. 2.** Temperature in the cylinder of the small-sized marine engine 4Ch-8.5/11 in Kelvin (K) in relation to the crankshaft rotation (degrees) determined with the Diesel RK software.

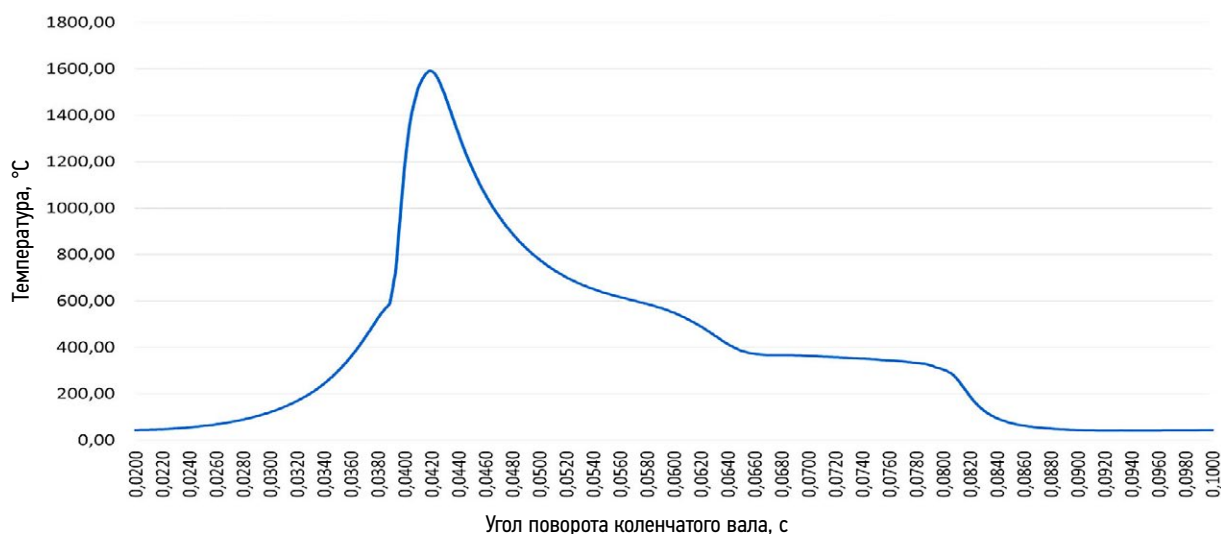


Рис. 3. График распределения температуры в цилиндре исследуемого судового малоразмерного двигателя 4Ч-8,5/11 (в градусах цельсия), в зависимости от поворота коленчатого вала в секундах, для задания граничных условий в ПК Ansys.

Fig. 3. Temperature distribution graph for the cylinder of the studied small-sized marine engine 4Ch-8.5/11 (degrees Celsius) in relation to the crankshaft rotation (seconds) used to set boundary conditions in the Ansys software.

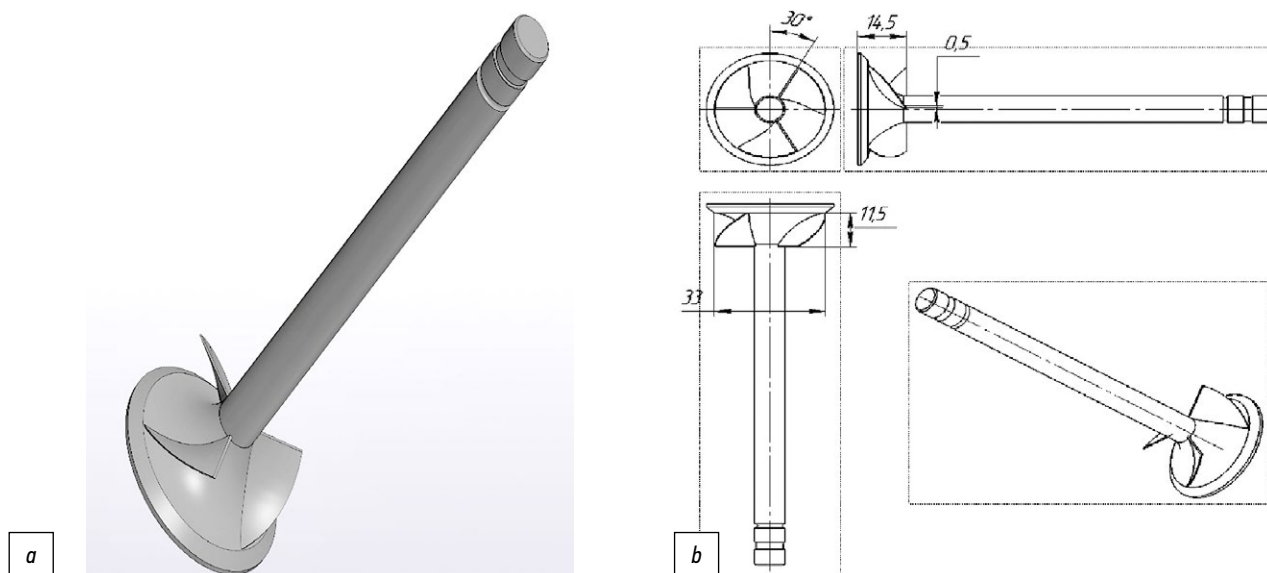


Рис. 4. Внешний вид клапана с тремя направляющими (лопастями): *a* — выполненный в 3D модели; *b* — основные параметры направляющих (лопастей).

Fig. 4. View of a valve with three guides (blades): *a*, 3D model; *b*, main dimensions of the guides (blades).

Для осуществления подготовки модели клапанов к расчётам в Ansys, создавались конечные элементы (КЭ), так называемая сеточная модель, которая занимает важную роль, так как от неё зависит правильность и точность расчёта, построение сеточной модели проводилось в среде Ansys Mesh. Для модели клапана завода изготовителя использовалась гексаэдрическая сетка (рис. 6), с показателями качества элементов по Element Quality: Max — 0,99; Average — 0,31, по Skewness: Min — $2,0434 \cdot 10^{-007}$; Average — 0,30. Для клапанов изменённой конструкции применялась тетраэдрическая сетка (рис. 7),

с показателями качества элементов по Element Quality: Max — 1; Average — 0,84, по Skewness: Min — $6,3217 \cdot 10^{-005}$; Average — 0,22. Следовательно решение, полученное с помощью построенной сетки должно быть максимально приближённым, к нагрузкам оказываемым на клапан в действительности.

Последним этапом исследования был анализ полученных результатов и выводы.

При валидации результатов моделирования использовались зависимости температуры и давления от угла поворота коленчатого вала. Сравнение диаграмм, построенных

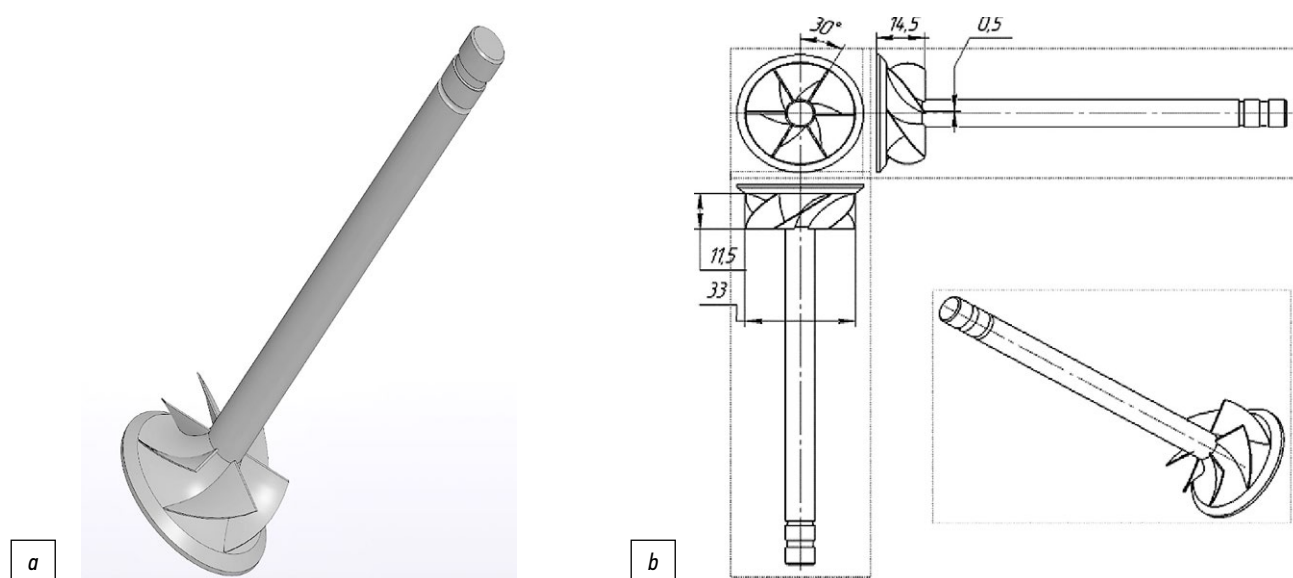


Рис. 5. Внешний вид исследуемого клапана с шестью направляющими (лопастями): *a* — выполненный в 3D модели; *b* — основные параметры направляющих (лопастей).

Fig. 5. View of a valve with six guides (blades): *a*, 3D model; *b*, main dimensions of the guides (blades).

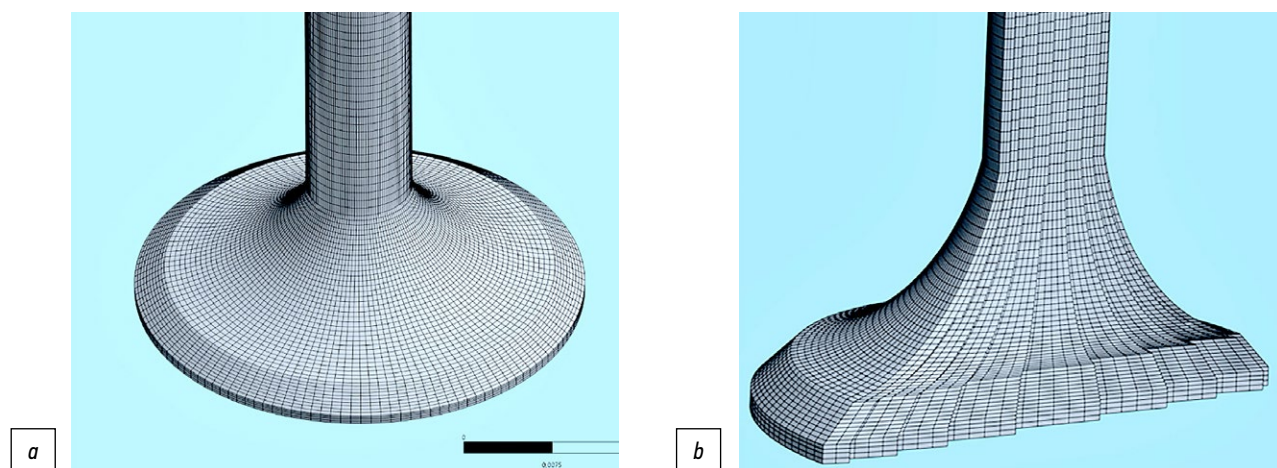


Рис. 6. Конечно-элементная 3D-модель клапана завода изготовителя в среде Ansys.

Fig. 6. Finite element 3D model of the factory-built valve in the Ansys environment.

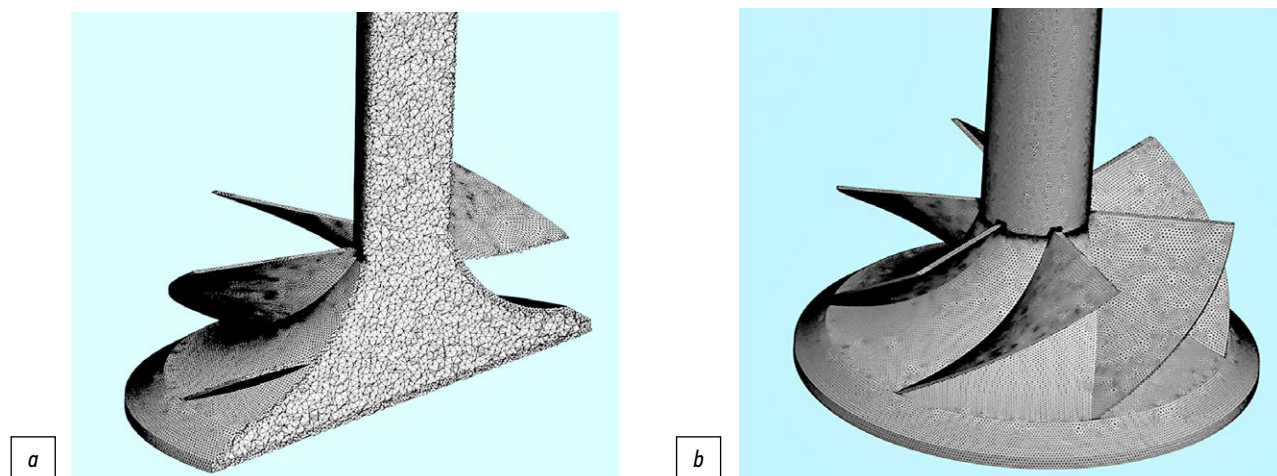


Рис. 7. Конечно-элементная 3D-модель клапана изменённой конструкции в среде Ansys.

Fig. 7. Finite element 3D model of the modified valve in the Ansys environment.

при нестационарном термомеханическом моделировании температуры и давления в ПК Ansys (рис. 8), с индикаторной диаграммой построенной в Дизель РК (см. рис. 2) не дали расхождений более чем 5%.

Временной интервал исследования составляет доли секунд, а именно согласно рис. 2 от 0,02 до 0,1 с. Результаты динамического термомеханического расчёта брались в наивысших, максимальных (max) нагрузках в данном временном интервале. По температуре максимум составил на временном отрезке 0,0419 с с наивысшей $T = 1591,10^{\circ}\text{C}$. Температура внешней среды

в момент исследований оставалась постоянной и равнялась 22°C .

Результаты моделирования и анализ

В результате проведённого моделирования были получены данные по распределению температуры внутри тарелок исследуемых клапанов, из стали 40Х, которую имеется возможность просмотреть в любой момент исследуемого интервала рис. 9.

Выявлено, что даже за такой кратчайший промежуток воздействия максимальной температуры на тарелку

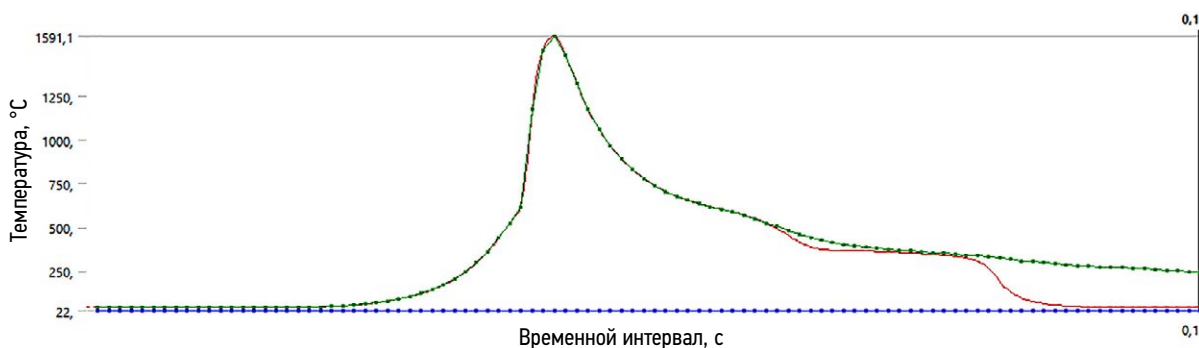


Рис. 8. График температуры, рассчитанной в среде Ansys.

Fig. 8. Temperature graph calculated in Ansys environment.

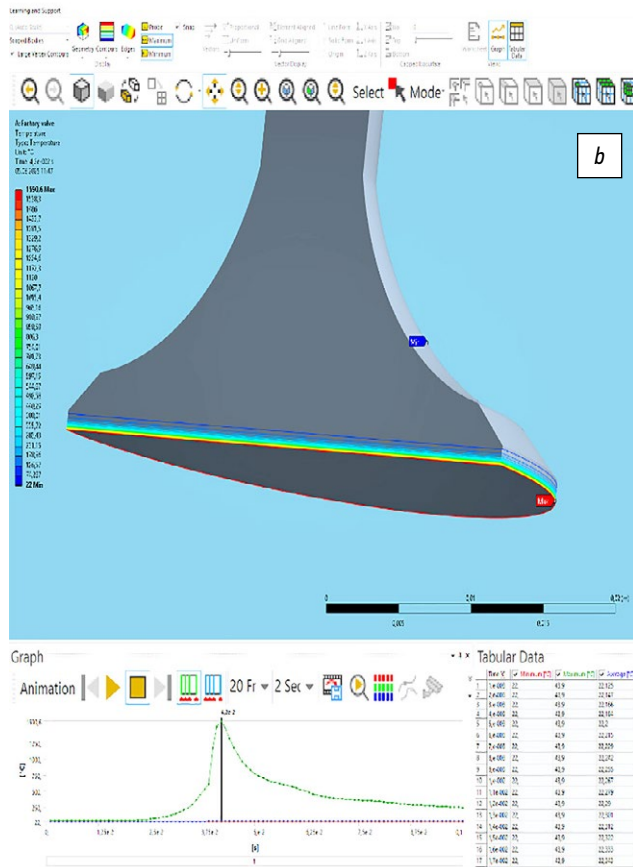
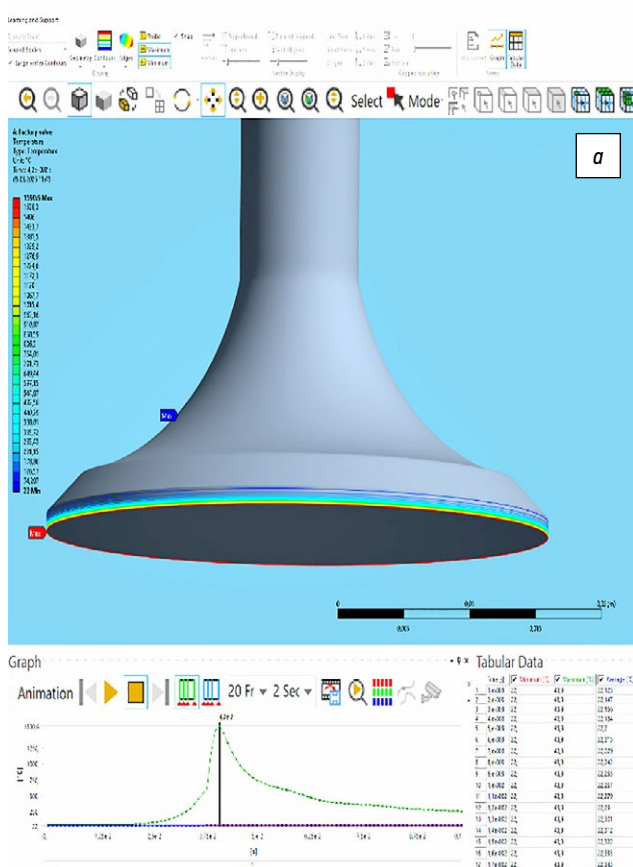


Рис. 9. Распределение температуры на тарелке клапана завода изготовителя при max нагрузке: а — общий вид; б — в разрезе.

Fig. 9. Temperature distribution on the factory-built valve tray at max load: a, general view; b, section.

клапана, она довольно глубоко распространяется вглубь тарелки на расстояние равное 4 мм рис. 10. На рисунке видно, что на тарелке клапана, обращённой в цилиндр, температура составляет $1590,6^{\circ}\text{C}$, далее — уменьшается. После расстояния в 1 мм температура составляет 60°C и начинает медленно падать до начального значения (окружающей среды) 22°C , это расстояние составляет более 3 мм рис. 8, b).

Плотность теплового потока на max составила $236,3 \text{ Вт/мм}^2 \text{ см}$. рис. 11.

Исследование клапанов изменённой конструкции выявило, что имеющиеся на внешней стороне тарелки лопасти в количестве 3 и 6 штук, мало чем влияют на T оказываемую на клапан, не смотря на то что температура довольно глубоко распространяется вглубь тарелки, лопасти остаются с неизменной T внешней среды 22°C . Температура немного увеличивается у основания и составляет $22,227^{\circ}\text{C}$ рис. 12.

Это может быть вызвано тем, что влияние температуры слишком кратковременно (от 0,02 до 0,1 с) и нагрузка, прикладываемая к тарелке не циклична, а создаётся один раз. Для более точного анализа влияния температур на клапан с лопастями необходимо задавать более долгие временные интервалы, нагружая клапан циклическими возрастаниями T , нагревать его со средней T в цилиндре, тогда температурное поле возможно

будет частично поглощаться лопастями и, таким образом, убирать нагрузку с тарелки. В нашем случае этого замечено не было.

При изучении теплового потока в клапанах разных конструкций было выявлено, что тепловой поток увеличился в клапане с 3 лопастями и составил $283,12 \text{ Вт/мм}^2$, а в конструкции с 6 лопастями он равен $281,49 \text{ Вт/мм}^2 \text{ см}$. рис. 13. Этого следовало ожидать так как во первых масса самих клапанов изменилась, конструкция добавила дополнительные поверхности контактирующие с окружающей средой, что увеличивает теплоёмкость всей конструкции. Кроме того, возможно изменение пути тепла, тепло, идущее от нагретой части тарелки, частично ответвляется в лопасти, что так же приведёт к увеличению теплового потока.

Выводы

Исходя из проведённого первого этапа исследования, посвященного влиянию температуры на клапаны разных конструкций, необходимо в дальнейшем продолжить изучение, с целью выявления влияния высоких температур на клапан с направляющими (лопастями), т.к. мгновенная приложенная нагрузка не оказывает существенного воздействия на исследуемые объекты. Для этого необходимо создавать параметры внешнего

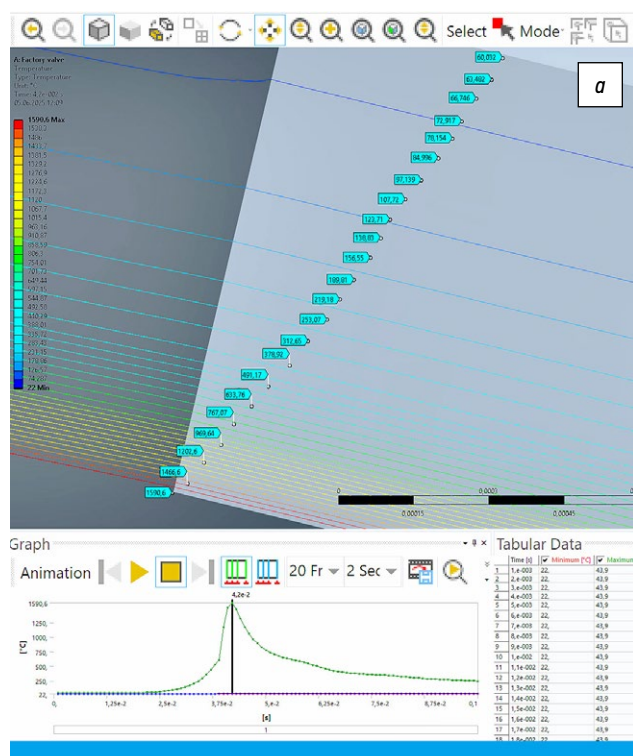


Рис. 10. Фрагмент распределения температуры внутри тарелки клапана от $1590,6^{\circ}\text{C}$ до 60°C , данное расстояние от max до min температуры = 1 мм (a); распределение T от 60°C до 22°C , на расстоянии более 3 мм вглубь тарелки (b).

Fig. 10. Fragment of temperature distribution inside the valve tray from 1590.6°C to 60°C ; the distance from max to min temperature = 1 mm (a); distribution of T from 60°C to 22°C at a distance of more than 3 mm inside the tray (b).

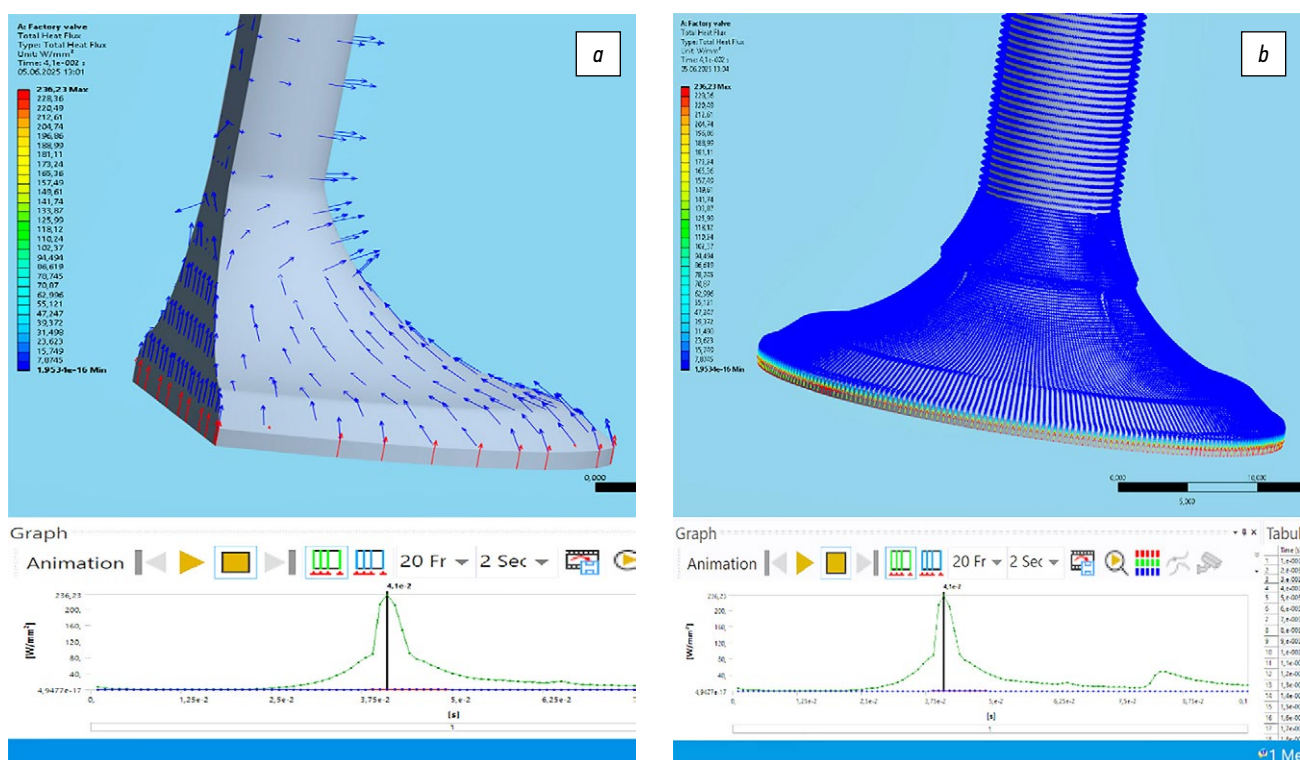


Рис. 11. Распределение теплового потока: *a* — в разрезе; *b* — в 3D.

Fig. 11. Heat flux distribution: *a*, section; *b*, 3D view.

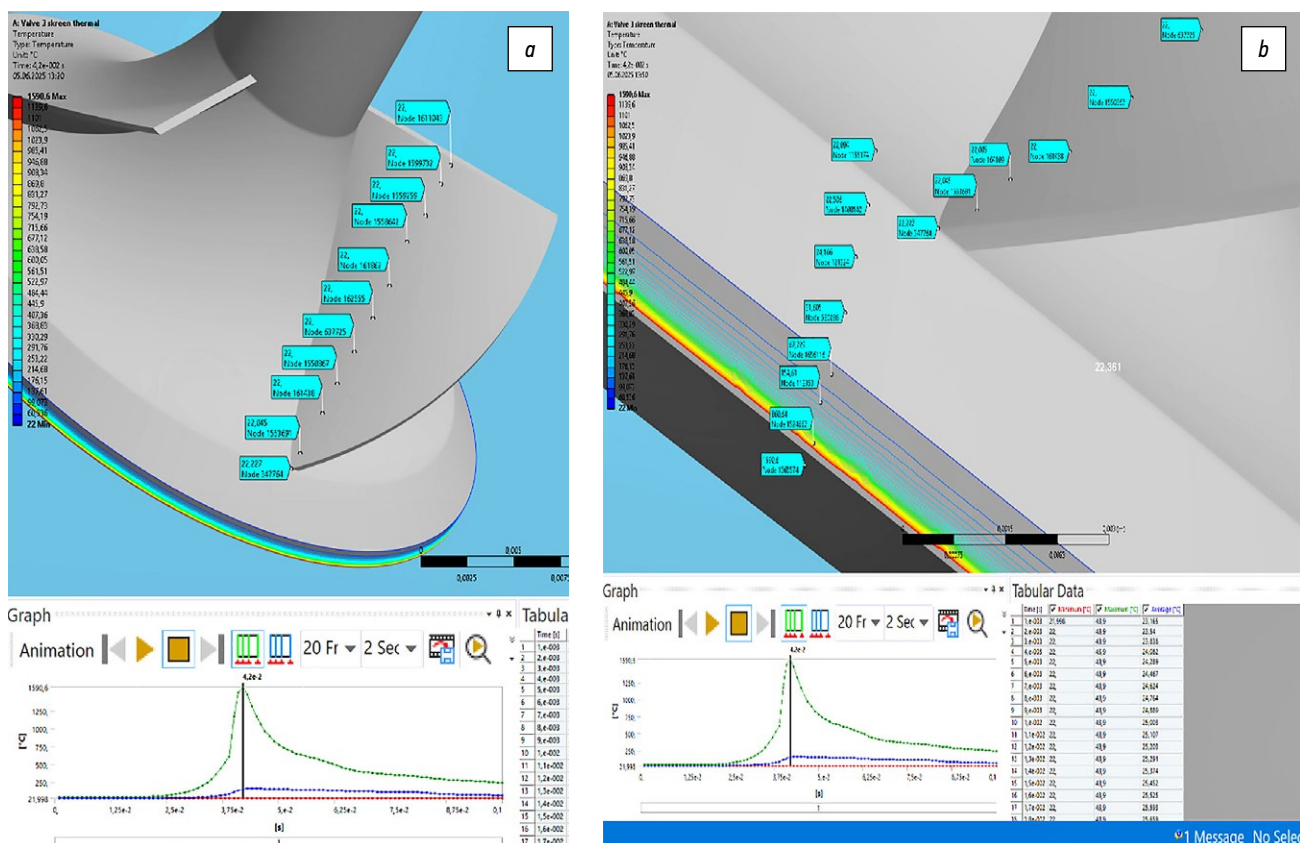


Рис. 12. Клапан с изменённой конструкцией с пробами T на лопасти от 22°C до 22,227°C (*a*); распределение T от дна тарелки до лопасти от 1590,6°C до 22°C (*b*).

Fig. 12. Modified valve with T tests on the blade from 22 °C to 22.227 °C (*a*); T distribution from the bottom of the tray to the blade from 1590.6 °C to 22 °C (*b*).

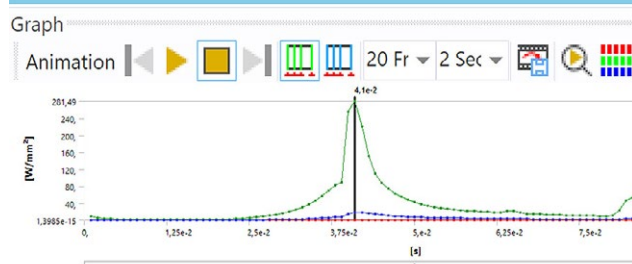
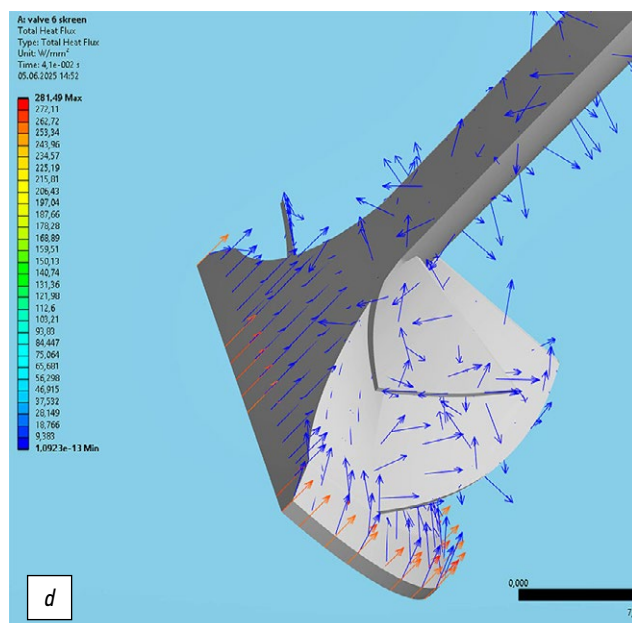
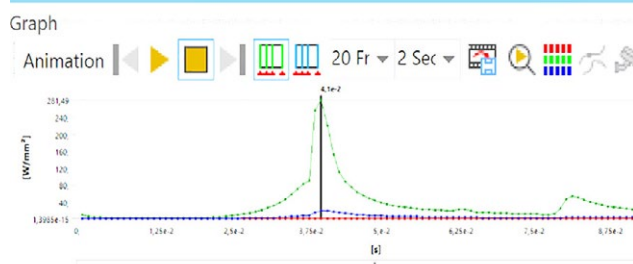
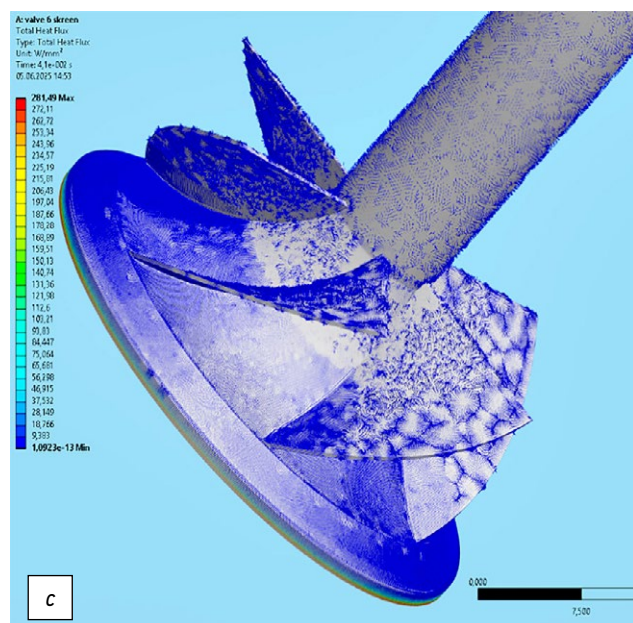
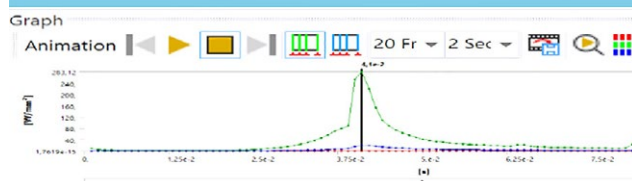
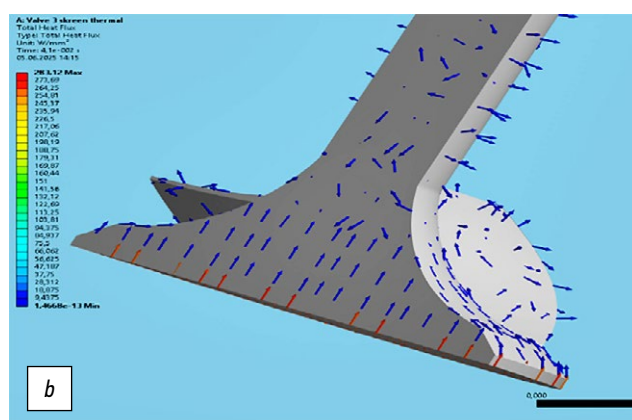
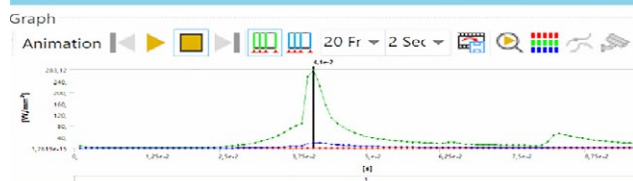
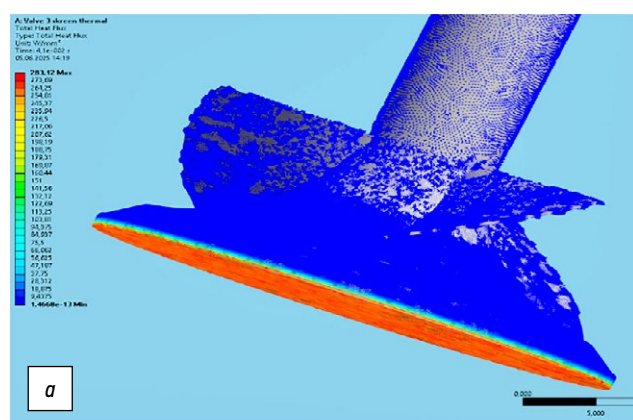


Рис. 13. Визуализация движения теплового потока на клапане: *a, b* — с 3 лопастями; *c, d* — с 6 лопастями.

Fig. 13. Visualization of heat flow on the valve: *a, b*, 3 blades; *c, d*, 6 blades.

воздействия (граничные условия) температурных режимов с наиболее долговременной нагрузкой и циклически, со средней температурой в цилиндре работающего СМД, чтобы наглядно рассчитать распределение температуры на клапане.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Личный вклад каждого автора: А.З. Курбанов — принял активное участие в создании и написании статьи, а также в подготовке и оформлении статьи; Н.М. Вагабов — принял активное участие

в подготовке и оформлении статьи, разработке схем и рисунков; Н.К. Санаев — принял активное участие в поиске и подготовке необходимой литературы, оформление статьи; В.В. Егоров — проводил исследование, обобщил результаты, провёл анализ и принял активное участие в подготовке и оформлении статьи. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы были использованы результаты исследований, проведенные аспирантом В.В. Егоровым.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали один рецензент, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.Z. Kurbanov: writing—original draft; writing—review & editing; N.M. Vagabov: writing—original draft, writing—review & editing, visualization; N.K. Sanaev: investigation, writing—review & editing; V.V. Egorov: investigation, formal analysis, writing—review & editing. All the authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: This paper used the studies conducted by postgraduate student V.V. Egorov.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved one reviewer, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румб В.К. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Конструирование, расчёты прочности, износостойкости, долговечности. М., Вологда: Инфра-Инженерия, 2024.
2. Санаев Н. К., Тынянский В. П., Алимов С. А. Новая конструкция всасывающего клапана газораспределительного механизма судового малоразмерного дизеля // Вестник машиностроения. 2011. № 12. EDN: NCKLEN
3. Pandey A., Mandloi R.K. Effects of High Temperature on the Microstructure of Automotive Engine Valves // Int. Journal of Engineering Research and Applications. 2014. Vol. 4, N. 3 P. 122–126.
4. Дмитриев С.А., Хрулёв А.Э. Особенности моделирования температурного состояния впускных клапанов ДВС в задачах поиска причин неисправности // Проблемы тертя та зношування. 2019. № 1 (82). doi: 10.18372/0370-2197.1(82).13485 EDN: ITEIKZ
5. Cerdoun M., Khalfallah S., Beniaiche A., Carcasci C. Investigations on the heat transfer within intake and exhaust valves at various engine

- speeds // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2020. Vol. 147. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119005
6. Keerthi Kumari Patnaik, Rao P.V. Effect of Curved Blade on Induction Swirl of an IC Engine CFD Analysis // JETIR. 2019 Vol. 6, N. 1.
7. Галиев И.Р., Максимов Д. С. Влияние формы впускного клапана на характеристики воздушного вихря в цилиндре судового двигателя. В кн.: Научно-технический сборник российского морского регистра судоходства № 76. Санкт-Петербург, 2024. С. 96–105. EDN: IFYSSY
8. Руководство по эксплуатации. Дизели ч8,5/11 и ч9,5/11. М.: Внешторгиздат, 1975.
9. Санаев Н.К. Судовые малоразмерные дизели: конструкторско-технологические аспекты обеспечения технического уровня. Санкт-Петербург: Политехника, 2010. EDN: QNWLFR
10. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: учебник для вузов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. EDN: ZCOGVL
11. Овчинников С.В. Введение в теорию теплообмена: Теплопроводность в твёрдых телах. Саратов: СГУ им. Н.Г. Чернышевского, 2015.

REFERENCES

1. Rumb VK. Marine internal combustion engines. Design, calculations of strength, wear resistance, durability. Moscow, Vologda: Infra-Engineering; 2024. (In Russ.)
2. Sanaev NK, Tynyansky VP, Alimov SA. New design of the suction valve of the gas distribution mechanism of a small-sized marine diesel engine. *Bulletin of Mechanical Engineering*. (In Russ.) 2011;12. EDN: NCKLEN
3. Pandey A, Mandloi RK. Effects of High Temperature on the Microstructure of Automotive Engine Valves. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*. 2014;4(3):122–126.
4. Dmitriev SA, Khrulyov AE. Features of modeling the temperature state of internal combustion engine intake valves in the problems of finding the causes of malfunctions. *Problems of wear and tear*. 2019;1(82). (In Russ.) doi: 10.18372/0370-2197.1(82).13485 EDN: ITEIKZ
5. Cerdoun A, Khalfallah S, Beniaiche A, Carcasci C. Investigations on the heat transfer within intake and exhaust valves at various engine speeds. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2020;147. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119005

6. Keerthi Kumari Patnaik, Rao P.V. Effect of Curved Blade on Induction Swirl of an IC Engine CFD Analysis. *JETIR*. 2019;6(1).
7. Galiev IR, Maksimov DS. Effect of the inlet valve shape on the characteristics of the air vortex in the cylinder of a marine engine. In: *Scientific and technical collection of the Russian maritime register of shipping No. 76*. St. Petersburg; 2024:96–105. EDN: IFYSSY
8. *Operation manual. Diesels ch8.5/11 and ch9.5/11*. Moscow: Vneshtorgizdat; 1975.
9. Sanaev NK. *Small-sized marine diesel engines: design and technological aspects of ensuring the technical level*. St. Petersburg: Polytechnic; 2010. EDN: QNWLFR
10. Kavtaradze RZ. *Local heat transfer in piston engines: textbook for universities*. Moscow: Moscow State Technical University Bauman; 2016. EDN: ZCOGVL
11. Ovchinnikov SV. *Introduction to the Theory of Heat Transfer: Thermal Conductivity in Solids*. Saratov: Saratov State University im NG Chernyshevsky; 2015.

ОБ АВТОРАХ

Курбанов Али Зильпакарович,

канд. техн. наук, профессор кафедры, Дагестанский
государственный технический университет;
eLibrary SPIN: 3867-2140;
e-mail: kurbanov_48@mail.ru

Вагабов Нурулла Магомедович,

канд. техн. наук, доцент кафедры, Дагестанский
государственный технический университет;
e-mail: vagabov01@inbox.ru

Санаев Надир Кельбиханович,

канд. техн. наук, доцент кафедры, Дагестанский
государственный технический университет;
e-mail: nurik909@mail.ru

*** Егоров Валентин Валентинович,**

аспирант кафедры, Дагестанский государственный
технический университет;
адрес: Россия, 367015, Махачкала, пр. Имама Шамиля, д. 70;
eLibrary SPIN: 2946-2612;
e-mail: Vavilon.200@yandex.ru

AUTHORS' INFO

Ali Z. Kurbanov,

Cand. Sci. (Engineering), professor; Dagestan State
Technical University;
eLibrary SPIN: 3867-2140;
e-mail: kurbanov_48@mail.ru

Nurulla M. Vagabov,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor; Dagestan State
Technical University;
e-mail: vagabov01@inbox.ru

Nadir K. Sanaev,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; Dagestan State
Technical University;
e-mail: nurik909@mail.ru

*** Valentin V. Egorov,**

postgraduate student; Dagestan State Technical University;
address: 70 Imama Shamilya av, Makhachkala, 367015, Russia;
eLibrary SPIN: 2946-2612;
e-mail: Vavilon.200@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author