

УДК 631.371

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТАННОЙ ФОРКАМЕРЫ И ЕЕ СОВРЕМЕННЫХ АНАЛОГОВ**

Жбанов Никита Сергеевич  
к.т.н., доцент кафедры  
РИНЦ SPIN-код= 7241-6650  
*Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, Рязань, Россия*

Чернышев Алексей Дмитриевич  
к.т.н., заведующий кафедрой  
РИНЦ SPIN-код= 5899-2853  
*Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, Рязань, Россия*

Кулик Сергей Николаевич  
к.т.н., доцент кафедры  
РИНЦ SPIN-код= 8882-5628  
*Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Попков Никита Евгеньевич  
магистрант  
*Рязанский институт (филиал) Московского Политехнического университета, Рязань, Россия*

Повышение мощности двигателей внутреннего сгорания является одним из важнейших вопросов, стоящих перед машиностроительным комплексом. В трудах многих советских и зарубежных ученых рассматриваются процессы, протекающие в двигателе во время его функционирования, предлагаются оптимальные режимы работы, рассматриваются применения альтернативных видов топлива, а также различных присадок. Важную роль играет разработка конструктивных решений по модернизации двигателей в целом, и отдельных его элементов. Наряду с модернизацией двигателей наземных транспортно-технологических средств, интерес представляет усовершенствование высокопроизводительных, в том числе стационарных двигателей способных обеспечить работу оборудования в разных отраслях производства. В настоящее время особое внимание уделяется процессу воспламенения топливно-воздушной смеси. Особенного внимания заслуживает форкамерное зажигание, распространенное на высокопроизводительных двигателях. В ранее опубликованных статьях была представлена модернизированная форкамера, особой геометрической формы, способная за счет

UDC 631.371

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CALCULATED PARAMETERS OF THE DEVELOPED PRE-CHAMBER AND ITS MODERN ANALOGUES**

Zhbanov Nikita Sergeevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor of the department  
RSCI SPIN-code= 7241-6650  
*Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia*

Chernyshev Alexey Dmitrievich  
Cand.Tech.Sci., head of department  
RSCI SPIN-code= 5899-2853  
*Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia*

Kulik Sergey Nikolaevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor of the department  
RSCI SPIN-code= 8882-5628  
*Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Popkov Nikita Evgenievich  
Master's student  
*Ryazan Institute (branch) of the Moscow Polytechnic University, Ryazan, Russia*

Increasing the power of internal combustion engines is one of the most important issues facing the machine-building complex. In the works of many Soviet and foreign scientists, the processes occurring in the engine during its operation are considered, optimal operating modes are proposed, the use of alternative fuels and various additives is considered. An important role is played by the development of constructive solutions for the modernization of engines in general and its individual elements. Along with the modernization of engines of ground-based transport and technological facilities, it is of interest to improve high-performance, including stationary engines capable of operating equipment in various industries. Currently, special attention is being paid to the process of ignition of the fuel-air mixture. Pre-chamber ignition, which is common in high-performance engines, deserves special attention. In previously published articles, a modernized pre-chamber was presented, with a special geometric shape, capable of improving mixing due to the spherical combustion cavity. For the developed pre-chamber, the velocity of propagation of the ignited fuel mixture, a gas dynamic calculation, and a calculation of the temperature front distribution were performed. Similar studies were conducted for the pre-

шаровой полости горения улучшить смесеобразование. Для разработанной форкамеры был проведен расчет скорости распространения воспламененной топливной смеси, газодинамический расчет, а также расчет распределения температурного фронта. Аналогичные исследования проводились для форкамер аналогов. Для определения рациональности использования разработанной форкамеры, необходимым является проведение сравнительного анализа расчетных характеристик разработанной форкамеры с ее современными аналогами. Освещенный в статье анализ – сравнение позволил установить, что в предлагаемой форкамере зафиксированы лучшие показатели давления и скорости воспламенения, а так же распределения температурного фронта. В результате проведенного прочностного расчета установлено соответствие форкамеры требованиям надежности. Внедрение разработанной форкамеры способно качественно улучшить работу двигателей, в особенности процесса воспламенения

Ключевые слова: МАШИНОСТРОЕНИЕ, ДВИГАТЕЛИ, ФОРКАМЕРА

chambers of analogues. To determine the rationality of using the developed pre-chamber, it is necessary to conduct a comparative analysis of the design characteristics of the developed pre-chamber with its modern analogues. The comparison analysis described in the article allowed us to establish that the proposed pre-chamber has the best indicators of ignition pressure and velocity, as well as the distribution of the temperature front. As a result of the strength calculation, the pre-chamber meets the reliability requirements. The introduction of the developed pre-chamber can qualitatively improve the performance of engines, especially the ignition process

Keywords: MECHANICAL ENGINEERING, ENGINES, PRE-CHAMBER

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-205-007>

## Введение

Повышение мощности двигателей внутреннего сгорания является одним из наиважнейших вопросов, стоящих перед машиностроительным комплексом. В трудах многих советских и зарубежных ученых рассматриваются процессы, протекающие в двигателе во время его функционирования, предлагаются оптимальные режимы работы, рассматривается применения альтернативных видов топлива, а также различных присадок. Важную роль играет разработка конструктивных решений по модернизации двигателей в общем, и отдельных его элементов [1,2].

Наряду с модернизацией двигателей наземных транспортно-технологических средств, интерес представляет усовершенствование высокопроизводительных, в том числе стационарных двигателей способных обеспечить работу оборудования в разных отраслях производства. В настоящее время особое внимание уделяется процессу

<http://ej.kubagro.ru/2025/01/pdf/07.pdf>

воспламенения топливно-воздушной смеси. Особенного внимания заслуживает форкамерное зажигание, распространенное на высокопроизводительных двигателях.

Теория форкамерной системы зажигания была хорошо разработана в 60е годы прошлого века. Автомобили, снабженные форкамерным зажиганием эксплуатировали вплоть до 80-х годов исключительно в коммунальном хозяйстве, но в настоящее время применяется и в агропромышленном комплексе, к примеру для обеспечения работы технических систем, удаленно от населенных пунктов, в местах не имеющих доступа к централизованным системам энергоснабжения [1,2].

Рассмотрев процесс воспламенения топливной смеси при форкамерном зажигании в современных двигателях компаний «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ» и Научно-технологического университета им. короля Абдаллы. было установлено, что в сравнении с моделями более ранних сборок, они обеспечивают значительно более высокие показатели воспламенения. При этом стоит отметить, что при этом процесс смесеобразования по прежнему происходит не лучшим образом и требует доработки.

В ранее опубликованных статьях была представлена модернизированная форкамера, особой геометрической формы, способная за счет шаровой полости горения улучшить смесеобразование. Для разработанной форкамеры был проведен расчет скорости распространения воспламененной топливной смеси, газодинамический расчет, а также расчет распределения температурного фронта. Аналогичные исследования проводились для форкамер аналогов ранее озвученных компаний. Для определения рациональности использования разработанной форкамеры, необходимым является проведение сравнительного анализа полученных ранее результатов исследований [1,2].

## Материалы и методы исследований

Наряду с основными функциональными параметрами, интерес представляют прочностные показатели разработанной форкамеры. Вопрос надежности, внедряемых элементов конструкций, является первостепенным. Проведение прочностного расчета позволит установить способность выдерживать приходящиеся на форкамеру нагрузки и как следствие оценить возможность применения ее в двигателях. Для прочностного расчета пользовались данными полученными при газодинамическом расчете. Расчет производился с использованием программы T-FLEX, которая позволяет наиболее точно определить коэффициенты запаса прочности. Кроме того, визуализация распределения прочностного запаса по форкамере, позволяет выявить уязвимые участки, и в последствии предложить варианты по их ликвидации.

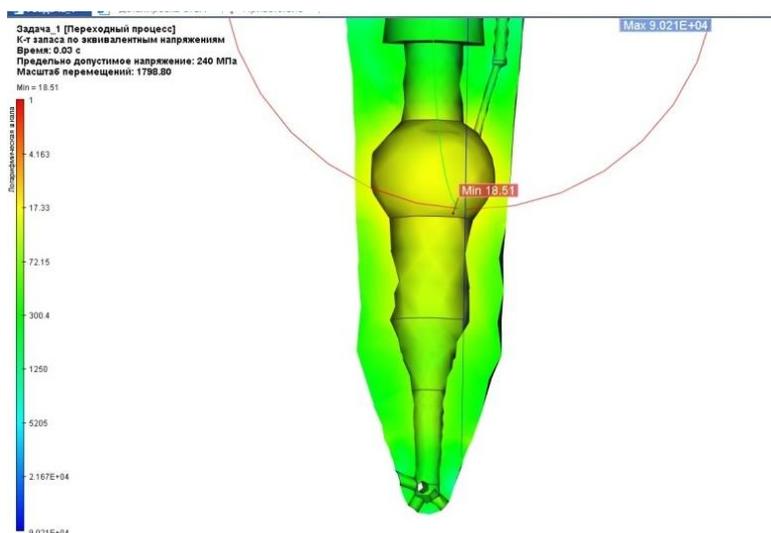
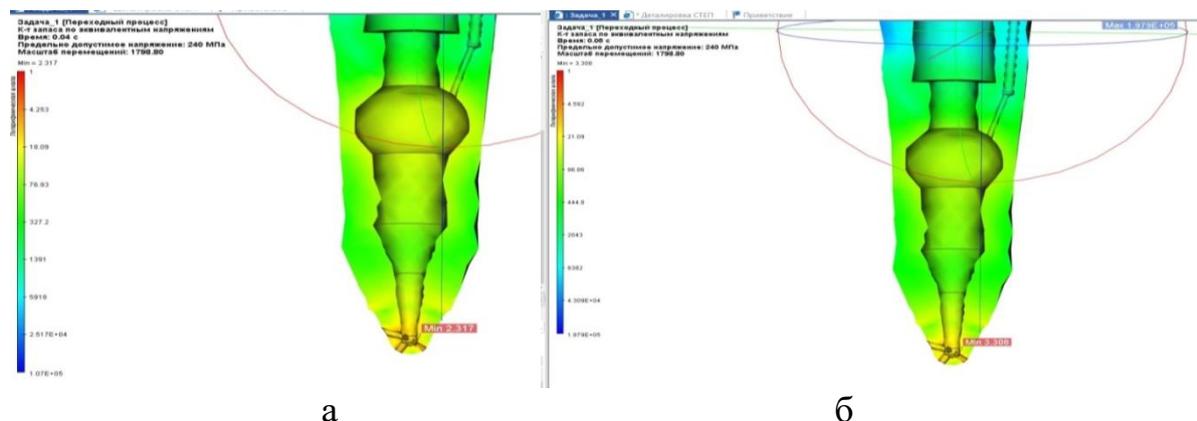


Рисунок - 1. Коэффициент запаса прочности в момент воспламенения

Проводя анализ рисунка 1, было установлено, что в момент воспламенения топливной смеси минимальный запас прочности зафиксирован в шаровой полости горения и составляет 18,51, что выше минимально допустимого запаса. Стоит отметить, что область между разгонной и шаровой полостями, так же следует считать уязвимой, так как

на этом отрезке зафиксирован близкий к минимальному коэффициент запаса прочности, который составил 21,15.



а- процесс горения; б- сгорание основной части топливной смеси  
Рисунок - 2. Коэффициент запаса прочности при горении в форкамере и воспламенение основной дозы в цилиндре

Наряду со воспламенением, важнейшим процессом протекающим в форкамере является горение. Определение коэффициента прочностного запаса для данного процесса, является необходимым для определения соответствия требованиям надежности. Минимальный коэффициент запаса прочности составил 2,317, при этом при дальнейшем горении топливной смеси имело место увеличение данного показателя до значения 3,308 ввиду того, что перемещение поршня оказывает влияние на изменение коэффициента.

Данный коэффициент характерен одному из сопел распылителя, при этом следует отметить, что на других отверстиях зафиксированы сходные коэффициенты 3,33 и 4,13. Так же, коэффициент близкий к минимальному, отмечен в шаровой полости горения. Стоит отметить, что максимальный коэффициент запаса прочности приходится на место установки свечи зажигания.

В дальнейшем отмечается закономерное повышение запаса прочности, относительно его минимума, в связи с стабилизацией процесса. Область концентрации минимального прочностного запаса по прежнему

находится в нижней части разработанной форкамеры в районе распылителя в частности его сопел.

Следует отметить, что полученный в результате расчетов диапазон коэффициентов прочности удовлетворяет требованиям надежности, а разработанная форкамера способна выдерживать нагрузки возникающие в процесс воспламенения и горения.

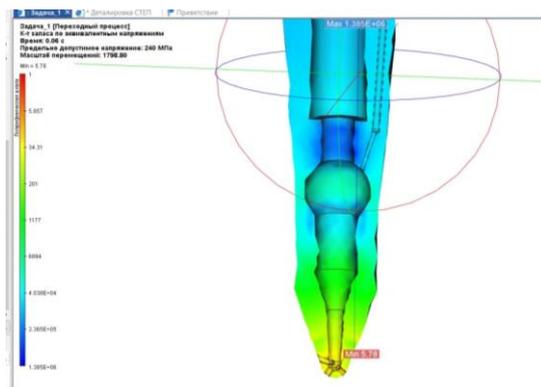


Рисунок -3 Коэффициент запаса прочности форкамеры в процессе ее дальнейшего функционирования.

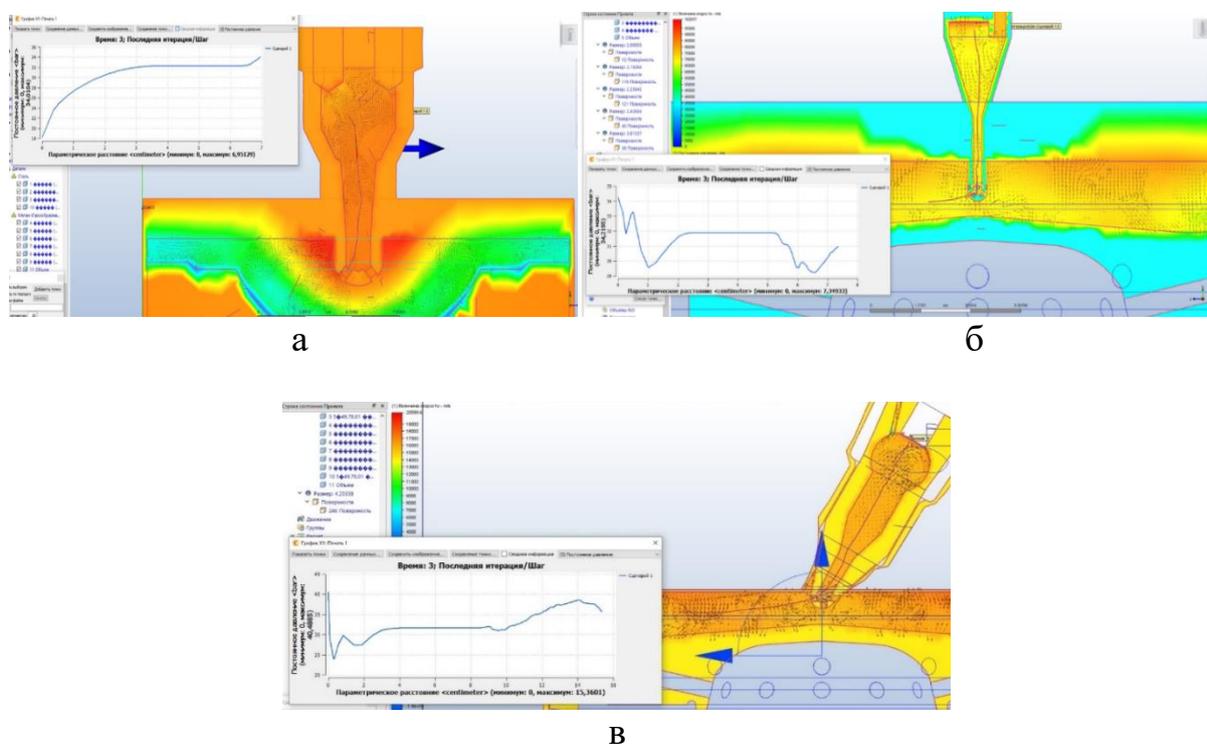
Ранее в научных публикациях освещался газодинамический расчет, исследования по определению скоростных показателей распространения воспламененного газа, а также динамики распределения температурного фронта разработанной форкамеры. В настоящее время имеется достаточно материала для проведения сравнительного анализа разработанной форкамеры и ее современных аналогов. Анализ производился на основе сопоставления результатов исследований, при идентичных параметрах форкамер: Научно-технологического университета имени короля Абдаллы, «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ» и разработанной форкамеры.

### Результаты исследования

Одним из основных параметров работы форкамеры является давление воспламенения топливно-воздушной смеси. В результате проведенных ранее расчетов установлено, что для рассматриваемых форкамер среднее значение давление составляет 30 бар. Анализируя

векторные траектории распределения давления по форкамерам, стоит отметить некоторое сходство форкамеры «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ» (рисунок 4а) и разработанной форкамеры (рисунок 4в). В обоих случаях зафиксировано вихревое воспламенение, при этом в разработанной форкамере оно является более выраженным.

К одной из не решенных проблем в настоящее время относится срыв потока струи пламени. Избежать данного явления возможно за счет снижения давления на выходе. В предлагаемой форкамере, при неизменной энергии инициации, давление на выходе ниже чем у аналогов, что говорит о преимуществе предлагаемой разработки.



а - форкамера компании «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ»; б - форкамера научно-технологического университета им. короля Абдаллы; в– разработанная форкамера

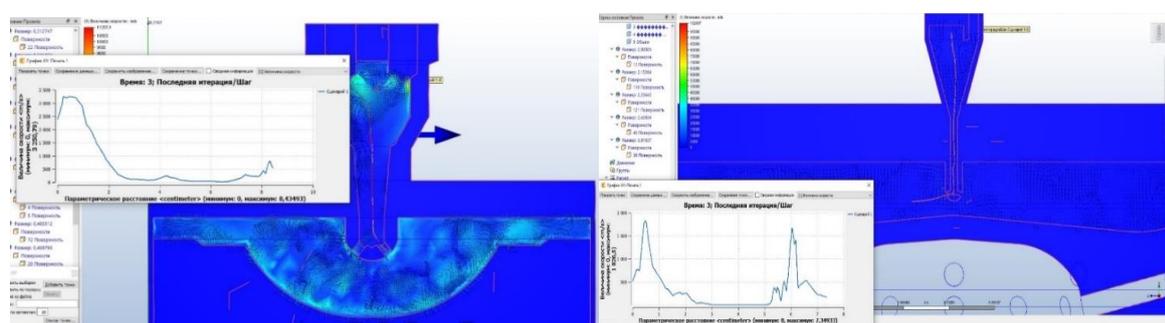
Рисунок 4- Распределение давления воспламенения в 50 бар в разработанной форкамере и форкамерах аналогах

При анализе эффективности функционирования форкамер, значимым является значение скорости распределения топливно–

воздушной смеси. На рисунке 5 представлен расчет распределения скорости в анализируемых форкамерах.

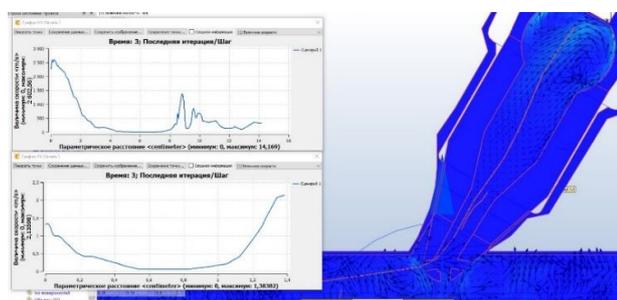
Проводя анализ скорости во время воспламенения и скорости на выходе из сопел, у форкамер аналогов зафиксирован разброс в значениях. В то время как у форкамеры компании «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ» наблюдается снижение скорости от момента воспламенения до выхода из сопел, то у форкамеры научно-технологического университета им. короля Абдаллы зафиксирована противоположная тенденция, характеризующаяся увеличением скоростных показателей от момента воспламенения к выходу из сопел форкамеры.

Следует отметить, что работа форкамеры зависит не только от геометрии ее конструкции, а так же и от головки поршня. Форма поршня «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ» обеспечивает снижение скорости выхода струи пламени, следует учитывать данный факт в дальнейших разработках.



а

б



в

а - форкамера компании «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ»; б - форкамера научно-технологического университета им. короля Абдаллы; в – разработанная форкамера

Рисунок 5- Распределение скорости движения воспламенённой смеси, в разработанной форкамере и ее аналогах

На рисунке 6 представлена сводная диаграмма показателей скорости распределения топливной смеси в момент воспламенения и на выходе из сопел

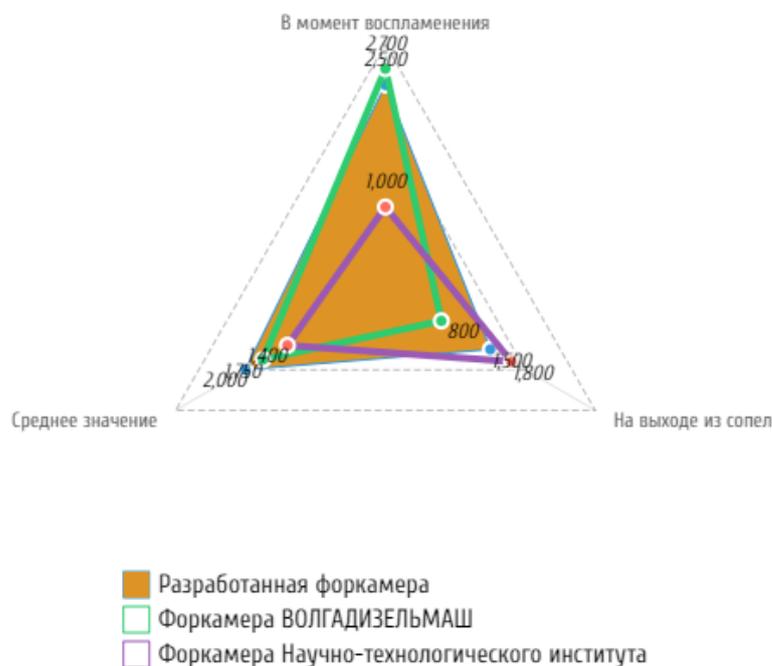
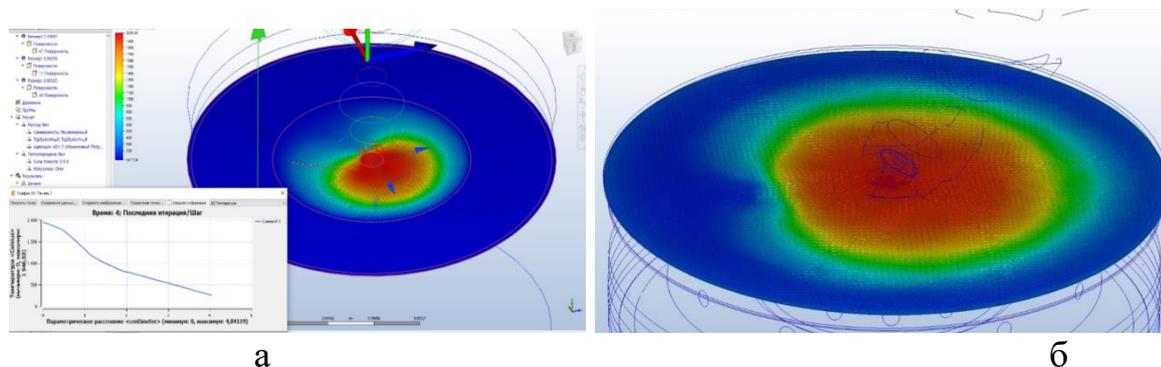


Рисунок 6 - Сводная диаграмма показателей скорости распределения топливной смеси в момент воспламенения и на выходе из сопел

Разработанная форкамера, функционируя в паре с головкой поршня, характеризуется более высокой скоростью. Скорость не является критичной и в перспективе способна обеспечить увеличение мощности в связи с увеличением давления наддува.

Анализируя распределение температурного фронта, представленного на рисунке 7, следует отметить большую площадь, а также наилучшее распределение по поверхности поршня у разработанной форкамеры, в сравнении с ее современными аналогами. Следует заметить, что на рисунке 6а представлено обобщенное распределение температурного фронта, характерное, как для форкамеры научно-технологического

университета, так и форкамеры компании «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ». Выбор обобщенного рисунка, обусловлен отсутствием серьезных визуальных различий между расчетными данными по форкамерам.



а - форкамеры научно-технологического университета им. короля Абдаллы и компании «ВОЛГОДИЗЕЛЬМАШ»;  
б – разработанная форкамера

Рисунок 7 – Распределение температурного фронта при давлении 50 бар в разработанной форкамере и форкамерах аналогах

### Заключение

Освещенный в статье анализ – сравнение разработанной форкамеры и ее современных аналогов позволил установить, что в предлагаемой форкамере зафиксированы лучшие показатели давления и скорости воспламенения, а так же распределения температурного фронта. В результате проведенного прочностного расчета установлено соответствие форкамеры требованиям надежности. Внедрение разработанной форкамеры способно качественно улучшить работу двигателей в особенности процесса воспламенения. В дальнейшем является необходимым создание экспериментальной модели и ее испытание.

### Библиографический список

1. Демьянов Л. А. Пути повышения надежности и долговечности автотракторных двигателей/ Л. А. Демьянов, С. К. Сарафанов// — Москва: Воениздат, 1967 — 152 с.
2. Kalyan K.S. Natural Gas Engines / K.S. Kalyan, K.A. Avinash, R.K. Sundar //— Springer. — 2019. — с. 250.

### References

1. Dem'janov L. A. Puti povyshenija nadezhnosti i dolgovechnosti avtotraktornyh dvigatelej/ L. A. Dem'janov, S. K. Sarafanov// — Moskva: Voenizdat, 1967 — 152 c.
2. Kalyan K.S. Natural Gas Engines / K.S. Kalyan, K.A. Avinash, R.K. Sundar //- Springer. — 2019. — c. 250.