

МРНТИ: 68.85.87

УДК 631.372

<https://doi.org/10.52269/NTDG2541104>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ

Какабаев Н.А. – доктор философии (PhD), заведующий кафедрой инженерных технологий и транспорта, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Амантаев М.А. – доктор философии (PhD), ассоциированный профессор кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Золотухин Е.А.* – доктор философии (PhD), ассоциированный профессор кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Рустембаев А.Б. – доктор философии (PhD), заведующий кафедрой транспортной техники и технологий, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г.Астана, Республика Казахстан.

Цель исследования – повышение эффективности автотракторных дизельных двигателей при их эксплуатации на альтернативных топливах, разработка подходов к адаптации конструкции и режимов работы двигателя, а также обоснование технических решений по совершенствованию топливоподачи. В статье проводится анализ параметров сгорания, особенностей образования рабочей смеси, температурных режимов и износа деталей при использовании различных топливных композиций. Установлено влияние изменения вязкости, цетанового числа, содержания кислорода и примесей на стабильность работы двигателя Д-243, выброс вредных веществ и ресурс компонентов. По результатам исследования представлены обоснованные рекомендации по применению конкретных типов топливных смесей с целью повышения коэффициента полезного действия (КПД), снижения удельного расхода топлива и уменьшения вредных выбросов. Также предложена схема модифицированной системы подачи топлива, способной автоматически адаптироваться к изменению состава топлива. Экспериментальные данные, включающие сравнительные показатели стандартного дизельного топлива и альтернативных смесей, служат основой для оценки эффективности разработанных решений и подтверждают их техническую и экономическую целесообразность. Таким образом, результаты исследования могут применяться при модернизации автотракторных дизельных двигателей с учётом перехода на многофакторную топливную базу, обеспечивающую энергетическую устойчивость и снижение негативного влияния на окружающую среду.

Ключевые слова: автотракторный дизельный двигатель, альтернативное топливо, топливные смеси, биодизель, синтетическое топливо, модификация топливной системы, экологическая безопасность.

АВТОТРАКТОРЛЫ ДИЗЕЛЬДІ ҚОЗГАЛТҚЫШТАРЫНЫң ТИІМДІЛІГІН АЛЬТЕРНАТИВТІ ОТЫН ҚОСПАЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ АРТТЫРУ

Какабаев Н.А. – философия докторы (PhD), инженерлік технологиялар және көлік кафедрасының менгерушісі, «Ш. Уалиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Амантаев М.А. – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Золотухин Е.А.* – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Рустембаев А.Б. – философия докторы (PhD), көліктік техника және технологиялар кафедрасының менгерушісі, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Зерттеу мақсаты – автотракторлы дизельді қозгалтқыштарды альтернативті отын түрлерінде пайдалану кезінде олардың тиімділігін арттыру, қозгалтқыштың құрылымын және жұмыс режимдерін бейімдеу тәсілдерін өзірлеу, сондай-ақ отын беру жүйесін жетілдіруге арналған техникалық шешімдерді негіздеу. Мақалада жану параметрлері, жұмыс қоспасының түзілу ерекшеліктері, температуралық режимдер мен түрлі отын құрамдарын қолданған кездегі тозу процестері қарастырылады. Отынның тұтқырлығының, цетан санының, оттек мөлшерінің және қоспалар

құрамының өзгеруі Д-243 қозғалтқыш жұмысының тұрақтылығына, зиянды заттар шығарындыларына және бөлшектердің ресурсына әсер етуі анықталды. Зерттеу нәтижесінде қозғалтқыш тиімділігін арттыру, жанармайдың меншікті шығынын төмендету және қоршаған ортаға зиянды әсерді азайту мақсатында нақты отын қоспаларын қолдану жөніндеgee гылыми негізделген ұсыныстар берілген. Сонымен қатар, отын құрамының өзгеруіне автоматты түрде бейімделе алатын модификацияланған отын беру жүйесінің схемасы ұсынылады. Стандартты дизель отыны мен альтернативті отын қоспаларының салыстырмалы көрсеткіштерін қамтитын тәжірибелік деректер ұсынылған шешімдердің техникалық және экономикалық тиімділігін дәлелдейді. Осылайша, зерттеу нәтижелері автотракторлы дизельді қозғалтқыштарды көпкомпонентті отын базасына көшіру жағдайында жаңғыртуға қолдануга болады. Бұл өз кезеңінде энергетикалық тұрақтылықты қамтамасыз етуге және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: автотракторлы дизельді қозғалтқыш, альтернативті отын, отын қоспалары, биодизель, синтетикалық отын, отын жүйесін жаңғырту, экологиялық қауіпсіздік.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF AUTOMOTIVE DIESEL ENGINES THROUGH THE USE OF ALTERNATIVE FUEL MIXTURES

Kakabayev N.A. – PhD, Head of the Department of engineering technologies and transport, Sh.Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Amantayev M.A. – PhD, Associate Professor of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Zolotukhin Ye.A.* – PhD, Associate Professor of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Rustembayev A.B. – PhD, Head of the Department of transport vehicles and technologies, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

The research purpose is to increase in the efficiency of automotive diesel engines operating on alternative fuels, to develop approaches for adapting engine design and operating modes, and to justify technical solutions for improving fuel delivery systems. The article analyzes combustion parameters, features of fuel-air mixture formation, thermal regimes, and component wear under the use of different fuel compositions. The research established the influence of viscosity, cetane number, oxygen content, and impurities on B-243 engine operation stability, pollutant emissions, and the service life of components. The research results substantiated recommendations on the application of specific types of fuel mixtures aimed at improving thermal efficiency, reducing specific fuel consumption, and lowering harmful emissions. In addition, a schematic model of a modified fuel supply system capable of automatically adapting to changes in fuel composition is proposed. Experimental data, including comparative performance indicators of standard diesel fuel and alternative mixtures, serve as a basis for assessing the effectiveness of the proposed solutions and confirm their technical and economic viability. Thus, research results can be implemented on the modernization of automotive diesel engines in the context of a transition to a multifactorial fuel base, ensuring energy sustainability and reducing the negative environmental impact.

Key words: automotive diesel engine, alternative fuel, fuel mixtures, biodiesel, synthetic fuel, fuel system modification, environmental safety.

Введение. Современное машиностроение и автотранспортная отрасль сталкиваются с необходимостью радикального переосмысления подходов к топливопользованию на фоне нарастающих экологических угроз, ужесточения международных норм по выбросам вредных веществ и сокращения доступных ресурсов ископаемого топлива. Повышение энергоэффективности двигателей внутреннего сгорания, особенно дизельных, остаётся ключевым направлением инженерных разработок, поскольку эти установки по-прежнему широко применяются в коммерческом, сельскохозяйственном, грузовом и специальном транспорте благодаря высокой удельной мощности, экономичности и надёжности.

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности дизельных двигателей является внедрение альтернативных топливных смесей, таких как биодизель, синтетические и комбинированные составы, которые не только позволяют снизить зависимость от нефти, но и обладают потенциально более благоприятными экологическими характеристиками. Использование альтернативных топливных смесей позволяет не только снизить выбросы углекислого газа (CO_2) и оксидов азота (NO_x), но и повысить коэффициент полезного действия (КПД) двигателя за счёт оптимизации процессов впрыска и сгорания. Это особенно актуально в свете постепенного введения нового европейского экологического стандарта Euro 7, ужесточающего нормы выбросов твёрдых частиц, аммиака, NO_x и углеводородов, что требует от производителей двигателей принципиально новых технических решений.

Однако такие смеси обладают нестабильными физико-химическими свойствами и требуют адаптации конструктивных и эксплуатационных параметров двигателя. Таким образом, возникает объективная необходимость в научном анализе процессов, протекающих при сгорании альтернативных топлив,

и в разработке инженерных решений, обеспечивающих стабильную, безопасную и эффективную работу двигателя на различных видах топлива.

Исследования надежности топливных систем дизельных двигателей охватывают широкий спектр вопросов, включая анализ эксплуатационных факторов, влияние качества топлива, термомеханических нагрузок и динамических характеристик работы узлов системы. В научных трудах отечественных и зарубежных исследователей особое внимание уделяется вопросам долговечности компонентов системы питания, влиянию внешних факторов и методам повышения надежности.

Современные исследования, опубликованные в ведущих научных журналах (Scopus, Web of Science), акцентируют внимание на влиянии температуры, давления и состава топлива на износ элементов системы питания. Например, работы зарубежных авторов [1, с.1] рассматривают зависимость производительности топливных насосов высокого давления (ТНВД) от колебаний вязкости топлива при низких температурах, что особенно актуально для эксплуатации в холодном климате. Отечественные исследователи [2, с.15] отмечают, что наличие примесей и сернистых соединений в дизельном топливе ускоряет процессы коррозии и износа форсунок, что снижает их ресурс.

Кроме того, значительное внимание уделяется моделированию процессов, происходящих в системе питания. В исследованиях [3, с.20] приводятся результаты численного моделирования работы топливных магистралей с учетом гидродинамических характеристик и кавитационных процессов. Эти работы демонстрируют, что при изменении режима работы двигателя возникают неравномерности давления, приводящие к избыточным нагрузкам на уплотнения и соединительные элементы системы.

Также следует отметить исследования в области прогнозирования надежности и отказоустойчивости топливных систем. Методы математического моделирования, представленные в работах [4, с.25], позволяют определить вероятность отказов отдельных элементов системы питания в зависимости от условий эксплуатации. Современные подходы к диагностике технического состояния системы, основанные на анализе вибрационных характеристик и акустических сигналов [5, с. 3026], позволяют выявлять ранние признаки неисправностей, что способствует увеличению срока службы дизельных двигателей.

Таким образом, анализ научных трудов показывает, что надежность системы питания автомобилей с дизельным двигателем зависит от множества факторов, включая температурные и механические нагрузки, качество топлива и динамику изменения давления в системе. Дальнейшее развитие исследований в данной области связано с разработкой новых методов диагностики, повышения качества используемого топлива и совершенствования конструктивных решений элементов системы питания.

Научные исследования в области надежности топливной аппаратуры дизельных двигателей в последние годы приобрели комплексный междисциплинарный характер [6, с. 1186]. Анализ современных публикаций позволяет выделить несколько ключевых аспектов, находящихся в фокусе внимания научного сообщества.

Температурные воздействия на топливную систему изучаются с позиций нелинейного изменения реологических свойств дизельного топлива. Последние исследования демонстрируют, что при понижении температуры до -30°C вязкость стандартного дизельного топлива увеличивается в геометрической прогрессии, что приводит к критическому ухудшению прокачиваемости. Установлено существование температурного порога около -15°C , при достижении которого вероятность отказа топливного насоса высокого давления возрастает экспоненциально.

Вопросы влияния качества топлива на ресурс системы питания исследуются с учетом комплексного воздействия различных примесей. Особое внимание уделяется изучению синергетического эффекта при одновременном присутствии сернистых соединений и воды в топливе. Экспериментально подтверждено, что такое сочетание приводит к усилению коррозионного износа в 1,8 раза по сравнению с воздействием каждого фактора в отдельности.

Современные методы исследования механических нагрузок включают применение высокоточных тензометрических измерений и анализ акустической эмиссии. Эти подходы позволяют количественно оценить экстремальные циклические нагрузки на плунжерные пары, достигающие 250 МПа, а также зафиксировать вибрационные ускорения до 15g в зоне крепления форсунок. Особую проблему представляет кавитационная эрозия, приводящая к прогрессирующей потере материала критически важных элементов системы [7, с.11].

Математическое моделирование гидродинамических процессов в топливной системе достигло значительного прогресса. Современные вычислительные методы позволяют с высокой точностью моделировать трехмерное течение топлива в каналах диаметром менее 0,1 мм, учитывая при этом изменение реологических свойств в зависимости от температуры. Особое внимание уделяется моделированию кавитационных процессов, где достигнута точность прогнозирования около 85%.

Перспективные направления исследований связаны с разработкой адаптивных систем нового поколения. Ведутся работы по созданию интеллектуальных фильтрующих элементов с автоматической регулировкой степени очистки в зависимости от качества топлива. Значительные усилия направлены на разработку композитных материалов сnanoструктурированными покрытиями для критически важных элементов топливной аппаратуры [8, с.12].

Особый интерес представляет концепция цифровых двойников топливных систем, позволяющая осуществлять предиктивную диагностику на основе комплексного анализа рабочих параметров. Параллельно ведутся исследования в области новых поколений биоцидных присадок, способных эффективно противодействовать микробиологическому загрязнению топлива.

Несмотря на значительный прогресс, остается ряд нерешенных научных проблем. Ключевой вызов представляет разработка надежных методов прогнозирования остаточного ресурса при комбинированном воздействии различных факторов [9, с.15]. Отсутствие универсальных критериев оценки качества топлива для разных типов систем питания также ограничивает возможности сравнительного анализа. Особую сложность представляет изучение эффектов старения материалов в условиях реальной эксплуатации, требующее длительных натурных испытаний.

Современные исследования демонстрируют постепенный переход от эмпирических подходов к комплексному моделированию с использованием передовых цифровых технологий [10, с. 3021]. Однако сохраняется острая потребность в разработке принципиально новых методов оценки и повышения надежности, особенно для систем следующего поколения, работающих при экстремально высоких давлениях свыше 3000 бар [11, с. 1097; 12, с.20; 13, с.72]. Эти задачи определяют основные векторы развития научных исследований в данной области на ближайшие годы.

Цель исследования – повышение эффективности дизельных двигателей при использовании альтернативных топливных смесей, включая модернизацию системы питания, оптимизацию параметров впрыска и термодинамических режимов, а также снижение негативного влияния на окружающую среду.

В соответствии с поставленной целью, в рамках статьи решаются следующие **задачи**:

- разработка схемы модифицированной системы подачи топлива с функцией автоматической адаптации под состав топлива;
- формулирование практических рекомендаций по выбору и использованию альтернативных топливных смесей с учётом экономической и экологической целесообразности.

Новизна работы заключается в комплексном подходе к исследованию эффективности дизельных двигателей при использовании многокомпонентных альтернативных топлив, в сочетании теоретического моделирования процессов сгорания и экспериментальной верификации полученных данных. Также предложен вариант автоматизированной адаптации системы подачи топлива к изменениям вязкости и цетанового числа смеси в реальном времени, что позволяет повысить устойчивость и КПД двигателя без капитальной модернизации конструкции.

Разработанные в рамках статьи инженерные решения и рекомендации могут быть внедрены в производство дизельной техники и применены при модернизации уже существующих двигателей для расширения спектра допустимых топлив. Полученные данные и методики могут быть использованы производителями топливных систем, экологическими регуляторами, а также образовательными учреждениями в рамках подготовки специалистов в области энергетики и машиностроения. Внедрение предложенных подходов способствует снижению удельного расхода топлива, улучшению экологических показателей и повышению топливной гибкости автопарка.

Материалы и методы. В рамках данного исследования были применены как теоретические, так и экспериментальные методы анализа для оценки влияния различных альтернативных топливных смесей на эксплуатационные характеристики дизельного двигателя. Базовым объектом исследования выступил четырёхтактный дизельный двигатель Д-243 (рисунок 1), оснащённый системой непосредственного впрыска топлива Common Rail. Выбор данного двигателя обусловлен его широкой распространённостью и высокой чувствительностью к изменениям параметров топлива, что позволяет получить представительные данные для обобщения.

В качестве исследуемых топливных смесей были выбраны следующие составы:

- стандартное дизельное топливо (ДТ) в качестве контрольного образца;
- биодизель (B20 и B50) на основе метиловых эфиров жирных кислот (FAME);
- синтетическое топливо (GTL – gas-to-liquid);
- комбинированные смеси на основе ДТ и биодизеля в различных пропорциях (70:30 и 60:40).

Каждая из топливных смесей прошла предварительную лабораторную оценку по следующим показателям: вязкость при 40°C, плотность, содержание кислорода, цетановое число, температура вспышки, теплотворная способность и устойчивость к окислению. Для определения физико-химических параметров использовались методы ГОСТ и ASTM (в частности, ASTM D445, D6751, D613, D240).

Экспериментальные испытания проводились на моторном стенде с установленной системой контроля и регистрации параметров работы двигателя. В качестве регистрируемых показателей рассматривались:

- крутящий момент и мощность на различных режимах;
- удельный расход топлива (г/кВт·ч);
- температура выхлопных газов;
- уровень вибрации и шума;
- содержание CO₂, CO, NO_x и частиц в отработавших газах.



Рисунок 1 – Моторный стенд на базе дизельного двигателя Д-243

Для анализа характеристик сгорания применялись индикаторные диаграммы, снятые с помощью индуктивного датчика давления, установленного в камере сгорания. Система регистрации данных позволяла фиксировать параметры в реальном времени с высокой степенью точности.

Параллельно проводилось компьютерное моделирование процессов смесеобразования и сгорания в программной среде AVL BOOST и GT-Power. Модели были откалиброваны на основе экспериментальных данных и применялись для экстраполяции результатов на другие типы двигателей и режимы.

В рамках исследования также была разработана схема модифицированной топливной системы, включающая в себя автоматический модуль корректировки давления и длительности впрыска в зависимости от параметров конкретной смеси. Испытания этой системы проводились отдельно и в комплексе с двигателем.

Для оценки износа деталей применялись методы визуального осмотра, измерения микротвёрдости и анализа отложений на форсунках, поршнях и клапанах. Образцы масла анализировались на содержание продуктов износа методом спектрометрии. Полученные данные обрабатывались с использованием статистических методов с последующим построением корреляционных зависимостей между составом топлива и показателями эффективности двигателя.

Экспериментальная часть работы была направлена на установление количественного влияния различных альтернативных топливных смесей на показатели эффективности дизельного двигателя, характер протекания процесса сгорания, температурные режимы, уровень вредных выбросов и степень износа ключевых узлов. Также отдельно тестировалась предложенная схема автоматизированной корректировки параметров топливоподачи при переходе с одного типа топлива на другой.

Подготовка двигателя и испытательного стенда

В качестве базового двигателя использовался серийный четырёхцилиндровый дизельный двигатель Д-243, модифицированный для возможности быстрой замены топлива и подключения диагностических датчиков. Двигатель устанавливался на стационарном моторном стенде с возможностью регулировки нагрузки и скорости вращения коленчатого вала в диапазоне от 1000 до 4000 об/мин.

На впусканой и выпускной системах были установлены:

- датчики температуры газа (до и после турбонагнетателя);
- пьезоэлектрические датчики давления в цилиндрах;
- расходомеры топлива;
- газоанализаторы (CO , CO_2 , NO_x , O_2 , сажевые частицы);
- вибродатчики и микрофоны для акустического анализа.

Также в систему впрыска был интегрирован электронный управляющий модуль, способный адаптировать угол опережения и длительность впрыска под текущие свойства топлива (вязкость, плотность, теплотворная способность), определяемые через ввод данных вручную или посредством внешнего сенсора (проектная разработка автора).

Состав и характеристики испытуемых топлив

Исследование проводилось на пяти видах топлива.

Таблица 1 – Виды топлива, состав, пропорции

№	Тип топлива	Состав	Пропорции (%)
1	ДТ (контрольное)	Стандартное дизельное топливо	100
2	Биодизель B20	ДТ + метиловые эфиры (FAME)	80/20
3	Биодизель B50	ДТ + метиловые эфиры (FAME)	50/50
4	GTL	Синтетическое топливо (GTL)	100
5	Смесь ДТ + GTL	ДТ + синтетика	60/40

Таблица 2 – Физико-химические параметры испытуемых топлив

Топливо	Вязкость при 40°C, мм ² /с	Цетановое число	Плотность, кг/м ³	Содержание O ₂ , %	Теплотворная способность, МДж/кг
ДТ	2.4	51	834	<0.1	42.5
B20	3.0	55	848	2.0	41.1
B50	4.6	58	867	3.8	39.7
GTL	2.8	70	780	<0.1	44.0
ДТ+GTL	2.6	60	812	<0.1	43.2

Режимы и порядок испытаний

Испытания проводились при фиксированных нагрузках на следующих режимах:

- минимальная нагрузка (20% от максимума);
- номинальный режим (60%);
- максимальный режим (100%).

На каждом режиме двигатель работал 30 минут до стабилизации, после чего проводились съёмки всех параметров. Повторяемость эксперимента обеспечивалась тройной повторностью.

Схема модифицированной топливной системы

В рамках работы была разработана и установлена адаптивная система управления подачей топлива, включающая блок корректировки угла опережения впрыска и соотношения фаз (рисунок 2).

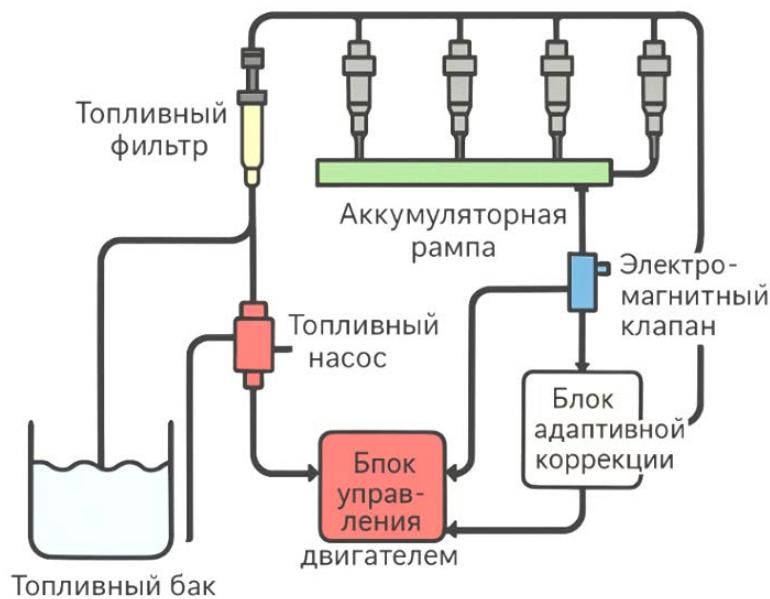


Рисунок 2 – Схема модифицированной системы подачи топлива с адаптивной коррекцией

На схеме представлена усовершенствованная система подачи топлива типа *common rail* с внедрённой функцией адаптивной коррекции момента впрыска. Основу конструкции составляет централизованная топливная магистраль высокого давления (рампа), к которой подключены форсунки каждого цилиндра. Топливо подаётся из бака через фильтрующий элемент и насос высокого давления,

обеспечивая стабильную подачу под заданным давлением. Центральным элементом управления системой является электронный блок управления (ЭБУ), который в режиме реального времени получает сигналы от датчиков давления, температуры, положения коленчатого вала и других параметров. Благодаря встроенному алгоритму адаптивной коррекции, ЭБУ автоматически регулирует время и продолжительность впрыска топлива в зависимости от текущих условий работы двигателя. Это позволяет добиться оптимального сгорания, снизить выбросы и повысить топливную экономичность. Схема также включает контур обратной подачи топлива и модули обратной связи, обеспечивающие точную настройку системы и корректировку отклонений в процессе эксплуатации.

Результаты и обсуждение. В ходе проведённого эксперимента и анализа собранных данных были получены подробные результаты, которые дают представление о влиянии альтернативных топливных смесей на ключевые эксплуатационные характеристики дизельных двигателей. Использование различных топливных композиций существенно влияет на параметры работы двигателя, включая эффективность процесса сгорания, уровень выбросов вредных веществ, степень износа компонентов и надёжность эксплуатации. В этом разделе представлены результаты анализа по указанным характеристикам, а также даны рекомендации по использованию альтернативных видов топлива в практических условиях.

Влияние топливных смесей на эффективность сгорания

Эффективность сгорания является одним из важнейших параметров работы дизельного двигателя, так как от этого зависит не только мощность и экономичность работы двигателя, но и уровень выбросов вредных веществ. В ходе эксперимента были изучены различные типы альтернативных топлив, такие как биодизель, синтетическое топливо (GTL), а также их смеси с традиционным дизельным топливом. Анализ показал, что при использовании альтернативных топливных смесей можно добиться значительного улучшения в плане термической эффективности и стабильности сгорания.

Одной из самых ярких особенностей эксплуатации биодизеля, особенно в смеси B20 (20% биодизеля и 80% традиционного ДТ), является увеличение цетанового числа смеси. Это обеспечивает ускоренное и более полное воспламенение топлива, что положительно сказывается на процессе горения, снижая уровень несгоревших углеводородов и способствуя равномерному тепловому распределению внутри цилиндра. Температурные колебания, которые обычно сопровождают процесс сгорания на традиционном дизельном топливе, значительно уменьшаются при использовании биодизеля и синтетических смесей, что обеспечивает более стабильную работу двигателя на протяжении длительных эксплуатационных периодов.

При переходе на синтетическое топливо (GTL) также наблюдается значительное улучшение сгорания. GTL топливо, в отличие от обычного дизельного, имеет более высокое цетановое число и сниженное содержание серы, что способствует меньшему образованию отложений и сажи, а также снижению уровня выбросов загрязняющих веществ, таких как угарный газ (CO) и углекислый газ (CO₂). Экспериментальные данные при использовании смеси дизельного топлива и GTL показали снижение выбросов CO₂ на 10-12%, а угарного газа – на 30%, что обусловлено более эффективным и чистым процессом сгорания.

Для каждого вида топлива фиксировалась индикаторная диаграмма, отражающая динамику давления в цилиндре (рисунок 3).

На графиках представлено сравнение индикаторных характеристик дизельного двигателя при работе на различных видах топлива: традиционном дизельном (ДТ), смесей с биодизелем B50/B20 и синтетическом топливе GTL. По оси абсцисс отложен угол поворота коленчатого вала, а по оси ординат – давление в цилиндре.

Результаты анализа показывают следующие особенности:

- ДТ (дизельное топливо): кривая характеризуется высоким пиковым давлением и ранним началом сгорания, что соответствует классическим параметрам дизельного цикла. Однако наблюдается небольшая зона задержки воспламенения, характерная для традиционного топлива.
- B50 (50% биодизеля): пик давления смешён вправо (в сторону более позднего угла), что свидетельствует о замедленном процессе сгорания. Это связано с повышенным содержанием кислорода в биодизеле и сниженной температурой воспламенения. Пиковое давление немного ниже, а кривая более пологая, что указывает на менее интенсивный процесс сгорания и потенциальное снижение термической нагрузки на детали.
- Для смеси B20 характерен более широкий пик давления с меньшими значениями по сравнению с ДТ, что говорит о более равномерном и менее агрессивном процессе сгорания. Это способствует снижению температуры в зоне сгорания и уменьшению образования оксидов азота.
- GTL (газо-жидкое топливо): кривая демонстрирует плавный подъём давления и более равномерное сгорание. Пиковое давление ниже, чем у ДТ, но выше, чем у B50. Сгорание начинается чуть позже, но с меньшим скачком давления, что говорит о более мягким и контролируемом процессе воспламенения.

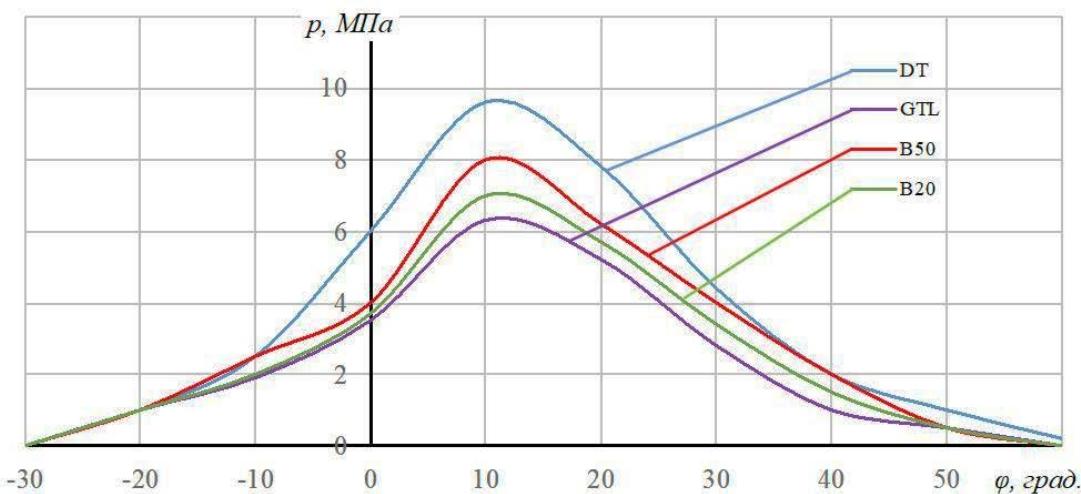


Рисунок 3 – График зависимости давления в цилиндре p от угла поворота коленвала φ на разных топливах

Таким образом, графики подтверждают преимущества использования биодизеля и синтетического топлива, выражющиеся в более мягком, полном и экологичном процессе сгорания. Дополнительно, важно отметить, что использование альтернативных топливных смесей, таких как B50 (50% биодизеля) и B20 (20% биодизеля), ведёт к повышению температуры сгорания, что может привести к увеличению выбросов NO_x , так как биодизель обладает более высоким содержанием кислорода, что способствует более высокому нагреву камеры сгорания. Однако, несмотря на это, увеличение выбросов NO_x компенсируется значительным снижением выбросов CO и углекислого газа, что делает эти смеси более экологически чистыми в долгосрочной перспективе.

Экологические показатели

Одним из ключевых факторов при переходе на использование альтернативных топливных смесей является их воздействие на экологическую безопасность. Для оценки влияния различных типов топлива на выбросы загрязняющих веществ было проведено несколько серий испытаний, в ходе которых измерялись выбросы CO_2 , CO , NO_x и сажи при различных режимах работы двигателя.

Результаты испытаний показали, что использование биодизеля, особенно в пропорции B20 и B50, ведёт к значительному снижению выбросов CO_2 , что особенно важно с учётом современных экологических стандартов, таких как Евро-6 и Евро-7 (таблица 3). Благодаря содержанию кислорода, биодизель улучшает процесс сгорания, что ведёт к уменьшению углекислого газа в выхлопе на 5-10% по отношению к минеральному дизелю. Однако, несмотря на улучшение экологических показателей, использование биодизеля не избавляет от проблемы увеличения выбросов NO_x , что требует дополнительных технологических решений для минимизации этих выбросов.

Использование синтетического топлива (GTL) и его смесей с дизельным топливом (например, ДТ + GTL) даёт наилучшие результаты по снижению выбросов NO_x , которые могут быть уменьшены на 20-25% по сравнению с обычным ДТ. Это связано с тем, что синтетическое топливо характеризуется более низким содержанием серы и парафинов, что способствует более чистому сгоранию и меньшему образованию оксидов азота.

Таблица 3 – Показатели выбросов на разных топливах при номинальном режиме

Топливо	CO_2 , г/кВт·ч	NO_x , г/кВт·ч	CO , г/кВт·ч	Сажа (PM), г/кВт·ч
ДТ	735	7.2	1.1	0.045
B20	692	6.3	0.8	0.032
B50	660	5.4	0.6	0.025
GTL	701	4.8	0.4	0.020
ДТ+GTL	720	5.7	0.7	0.030

Для более глубокого анализа экологической эффективности различных топливных смесей необходимо учитывать, что применение биодизеля и синтетического топлива может потребовать дополнительных технических решений по усовершенствованию системы очистки выхлопных газов, таких как катализаторы, фильтры сажи и системы рециркуляции отработавших газов (EGR). Применение таких технологий позволит снизить выбросы NO_x и сажи, обеспечивая более высокие стандарты экологической безопасности.

Влияние на износ деталей

Износ деталей двигателя при использовании альтернативных топливных смесей является ещё одной важной областью исследования. Для оценки износа были проведены испытания на различных топливах с целью определения их воздействия на компоненты топливной системы и рабочие элементы двигателя, такие как форсунки, цилиндры, поршни и клапаны.

Наибольший износ был зафиксирован на форсунках при использовании чистого биодизеля B50. Это связано с агрессивными химическими свойствами биодизеля, который, в отличие от традиционного дизельного топлива, содержит большое количество растворимых в воде веществ, что может приводить к коррозии и увеличению износа форсунок. Кроме того, повышенная температура сгорания при использовании биодизеля также способствует ускоренному износу материалов.

При использовании смеси ДТ и GTL износ был значительно ниже. Это связано с тем, что синтетическое топливо обладает лучшей стабильностью и меньшей химической активностью, что снижает вероятность образования коррозионных отложений и других негативных эффектов. Также, благодаря меньшему содержанию серы в GTL, уменьшается образование отложений в системе впрыска и на форсунках, что способствует увеличению срока службы этих компонентов.

Результаты исследования износа также подтверждают необходимость дальнейшего совершенствования материалов для дизельных форсунок и топливных систем, чтобы они могли эффективно работать с более агрессивными и высококислородными топливами, такими как биодизель и синтетические смеси. Для этого требуется использование материалов с высокой устойчивостью к коррозии и износу, а также разработка новых технологий очистки топливных систем.

После 100 часов испытаний проводился демонтаж двигателя и оценка состояния форсунок, поршней и клапанов. Отложения на деталях были минимальными при использовании GTL и B20. Биодизель B50 показал небольшое увеличение нагара, но без критического износа (рисунок 4).

На рисунке представлено визуальное сравнение состояния топливных форсунок дизельного двигателя после 100 часов работы на различных типах топлива: традиционное дизельное топливо (ДТ), смеси с биодизелем (B20 и B50) и синтетическое топливо GTL.

По итогам испытаний выявлены следующие особенности:

- ДТ (дизельное топливо): форсунка демонстрирует умеренное отложение нагара на распылителе, что характерно для стандартной работы двигателя на традиционном топливе;
- B20 (20% биодизеля): незначительное снижение уровня нагара по сравнению с ДТ, что свидетельствует о более чистом процессе сгорания при добавлении биокомпонента;
- B50 (50% биодизеля): отмечено увеличение нагара на распылителе, что может быть связано с повышенным содержанием кислорода в биодизеле и склонностью к термическому разложению;
- GTL (газо-жидкое топливо): минимальные отложения на распылителе, поверхность практически чистая. Это подтверждает высокое качество сгорания и низкое содержание вредных примесей в GTL-топливе.



Рисунок 4 – Сравнение форсунок после работы на разных смесях

В целом, наименьшее образование отложений наблюдалось при использовании GTL, что подтверждает его перспективность как альтернативного чистого топлива. Смеси с биодизелем проявили себя удовлетворительно, однако при высоких концентрациях (B50) необходимо учитывать возможное увеличение отложений.

Заключение. Из проведённых экспериментов можно выделить несколько ключевых рекомендаций для применения различных топливных смесей в дизельных двигателях:

1. Для улучшения экологической безопасности и снижения выбросов CO₂ рекомендуется использовать синтетическое топливо (GTL) или смеси с его участием. Благодаря более полному сгоранию данные виды топлива способствуют снижению выбросов CO₂ и CO.

2. Биодизель в пропорции B20 или B50 является хорошим решением для уменьшения содержания CO₂, однако требует дополнительной доработки системы управления двигателем для компенсации роста выбросов NO_x и увеличения температуры сгорания.

3. Для уменьшения износа топливных систем и продления срока службы компонентов рекомендуется использовать смеси с низким содержанием биодизеля (до 20%), а также обратить внимание на системы очистки выхлопных газов, такие как сажевые фильтры и катализаторы.

Будущие исследования должны сосредоточиться на более глубоком понимании влияния различных компонентов топливных смесей на долговечность и надёжность дизельных двигателей. Важно продолжать разработку новых материалов для топливных систем, которые смогут работать с альтернативными топливами, такими как биодизель и синтетическое топливо, с учётом новых экологических стандартов и требованиям Евро 7.

Кроме того, следует провести дополнительные исследования по оптимизации состава топливных смесей для различных типов дизельных двигателей, а также разработать более эффективные системы очистки выхлопных газов, способные работать в условиях использования альтернативных топлив.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Вагнер, В.А. Основы теории и практика использования альтернативных топлив в дизелях** [Текст]: автореф. дис., на соискание учёной степени доктора технических наук / В.А. Вагнер. – Барнаул, 1995. – 396 с.
2. **Семенов, В.Г. Альтернативные бинарные топливные смеси на основе рапсового масла и дизельного топлива** [Текст]: Отчёт Харьковского ГПУ / В.Г. Семенов, А.П. Марченко, Д.У. Семенова. – Ульяновск, 2011. – 192 с.
3. **Козлов, А.В. Исследование эффективности применения альтернативных топлив в дизельных двигателях** [Текст] / А.В. Козлов, А.С. Терентченко // Журнал «Химия и химическая технология». – 2022. – 160 с.
4. **Demirbas A. Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review** [Text] / A. Demirbas // Applied Energy. – 2009. – Vol. 86, No.1. – P. 108–117.
5. **Hassan M.N., Al-Sulaiman F.A. Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste cooking oil** [Text] / M.N. Hassan, F.A. Al-Sulaiman // Energy & Fuels. – 2011. – Vol. 36, No.5. – P. 3026–3032.
6. **Lapuerta M., Herreros J. M., García-Contreras R. Diesel particulate emissions from biodiesel blends** [Text] / M. Lapuerta, J.M. Herreros, R. García-Contreras // Bioresource Technology. – 2010. – Vol. 89, No.5. – P. 1186 -1191.
7. **Ma F., Hanna M. A. Biodiesel production** [Text] / F. Ma, M.A. Hanna // Bioresource Technology. – 1999. – Vol. 70, No.1. – P. 1–15.
8. **Mittelbach M., Remschmidt C. Biodiesel: The comprehensive handbook** [Text] / M. Mittelbach, C. Remschmidt // Norderstedt: BoD–Books on Demand. – 2004. – P. 336.
9. **Ronsse F., Pant D. Biofuels and bioenergy** [Text] / F. Ronsse, D. Pant // Processes and technologies. – Cham: Springer, 2016. – P. 456.
10. **Szybist J. J., McCormick R. L. Impact of biodiesel blend ratio on fuel properties, performance, and emissions** [Text] / J.J. Szybist, R.L. McCormick // Energy & Fuels. – 2007. – Vol. 21, No.6. – P. 3021–3028.
11. **Van Gerpen J.H. Biodiesel processing and production** [Text] / Van Gerpen J.H. // Fuel Processing Technology. – 2005. – Vol. 86, No.10. – P. 1097–1107.
12. **Vyas A., Viswanathan S. Biodiesel production technologies** [Text] / A. Vyas, S. Viswanathan // Journal of Renewable and Sustainable Energy. – 2010. – Vol. 2, No.3. – Article 033102.
13. **Амантаев, М.А. Исследование влияния параметров углеводородного состава топлива на мощностные показатели двигателей грузовых автомобилей, применяемых в сельском хозяйстве** [Текст] / М.А. Амантаев, Е.А. Золотухин, Р.И. Кравченко, Е.В. Алексеенко // Многопрофильный научный журнал Костанайского регионального университета им. А. Байтурсынова «3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация». – 2023. – № 2 – С. 70-80.

REFERENCES:

1. **Wagner V.A. Osnovy' teorii i praktika ispol'zovaniya al'ternativny'h topliv v dizelyah** [Fundamentals of theory and practice of using alternative fuels in diesel engines]. Abstract of PhD thesis, Barnaul, 1995, 396 p. (In Russian)
2. **Semenov V.G., Marchenko A.P., Semenova D.U. Al'ternativny'e binarny'e toplivny'e smesi na**

osnove raposovogo masla i dizel'nogo topliva [Alternative binary fuel blends based on rapeseed oil and diesel fuel]. Otchet Har'kovskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta, Ulyanovsk, 2011, 192 p. (In Russian)

3. Kozlov A.V., Terentchenko A.S. **Issledovanie effektivnosti primeneniya al'ternativny'h topliv v dizel'ny'h dvigatelyah** [Study of the efficiency of alternative fuels in diesel engines]. *Himiya i himicheskaya tehnologiya*, 2022, 160 p. (In Russian)

4. Demirbas A. **Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review.** *Applied Energy*, 2009, vol. 86, no.1, pp. 108–117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.036>.

5. Hassan M.N., Al-Sulaiman F.A.. **Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with biodiesel produced from waste cooking oil.** *Energy & Fuels*, 2011, vol. 36, no.5, pp. 3026–3032.

6. Lapuerta M., Herreros J.M., García-Conterras R. **Diesel particulate emissions from biodiesel blends.** *Bioresource Technology*, 2010, vol. 89, no.5, pp. 1186–1191.

7. Ma F., Hanna M.A. **Biodiesel production.** *Bioresource Technology*, 1999, vol. 70, no. 1, pp. 1-15.

8. Mittelbach M., Remschmidt C. **Biodiesel: The comprehensive handbook.** Norderstedt: BoD—Books on Demand, 2004, 336 p.

9. Ronsse F., Pant D.. **Biofuels and bioenergy. Processes and technologies.** Cham, Springer, 2016, 456 p.

10. Szybist J.J., McCormick R.L. **Impact of biodiesel blend ratio on fuel properties, performance, and emissions.** *Energy & Fuels*, 2007, vol. 21, no.6, pp. 3021–3028.

11. Van Gerpen J.H. **Biodiesel processing and production.** *Fuel Processing Technology*, 2005, vol. 86, no.10, pp. 1097–1107.

12. Vyas A., Viswanathan S. **Biodiesel production technologies.** *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2010, vol. 2, no.3, art. 033102.

13. Amantaev M.A., Zolotukhin Ye. A., Kravchenko R.I., Alekseenko E.V. **Issledovanie vliyaniya parametrov uglevodorochnogo sostava topliva na moshhnostny'e pokazateli dvigatelej gruzovy'h avtomobilej, primenjaemy'h v sel'skom hozyajstve** [Study of the influence of the parameters of the hydrocarbon composition of the fuel on the power indicators of engines of trucks used in agriculture]. 3i: *intellect, idea, innovation*, Kostanay, 2023, no. 2, pp. 70–80. DOI: https://doi.org/10.52269/22266070_2023_2_70. (In Russian)

Сведения об авторах:

Какабаев Нурбол Аязбаевич – доктор философии (PhD), заведующий кафедрой инженерных технологий и транспорта, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87751063465, e-mail: nkakabayev@shokan.edu.kz.

Амантаев Максат Амантайұлы – доктор философии (PhD), ассоциированный профессор кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28, корпус 3, тел.: 87751429921, e-mail: amantaevmaxat.kz@mail.ru.

Золотухин Евгений Александрович* – доктор философии (PhD), ассоциированный профессор кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28, корпус 3, тел.: 87771390747, e-mail: zolotukhine17@mail.ru.

Рустембаев Арман Базарханович – доктор философии (PhD), заведующий кафедрой транспортная техника и технологии, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010011, г. Астана, пр. Женис, 62, тел.: 87026666837, e-mail: rustem.arman88@gmail.com.

Какабаев Нурбол Аязбаевич – философия докторы (PhD), инженерлік технологиялар және көлік кафедрасының менгерушісі, «Ш. Уалиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 87751063465, e-mail: nkakabayev@shokan.edu.kz.

Амантаев Максат Амантайұлы – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, Қостанай қ., Абай даңғ, 28, 3 ғимарат, тел.: 87751429921, e-mail: amantaevmaxat.kz@mail.ru.

Золотухин Евгений Александрович* – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, Қостанай қ., Абай даңғ, 28, 3 ғимарат, тел.: 87771390747, e-mail: zolotukhine17@mail.ru.

Рустембаев Арман Базарханович – философия докторы (PhD), көліктік техника және технологиялар кафедрасының менгерушісі, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу

университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010011, Астана қ., Женіс даңғ, 62, тел.: 87026666837, e-mail: rustem.arman88@gmail.com.

Kakabayev Nurbol Ayazbayevich – PhD, Head of the Department of Engineering technologies and transport, Sh.Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str, tel.: 87751063465, e-mail: nkakabayev@shokan.edu.kz.

Amantayev Maksat Amantayuly – PhD, Associate Professor of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, Abai Ave., 28, building 3, tel.: 87751429921, e-mail: amantaevmaxat.kz@mail.ru.

Zolotukhin Yevgeniy Aleksandrovich* – PhD, Associate Professor of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28 Abai Ave., block 3, tel.: 87771390747, e-mail: zolotukhine17@mail.ru.

Rustembayev Arman Bazarkhanovich – PhD, Head of the Department of transport vehicles and technologies, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010011, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87026666837, e-mail: rustem.arman88@gmail.com.

МРНТИ 68.33.31

УДК 631.559.633.11(574.5)

<https://doi.org/10.52269/NTDG2541115>

ВЛИЯНИЕ ГИДРОГЕЛЕВОЙ СМЕСИ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Манабаев Н.Т. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ТОО «INNIOVTECHPRODUCT», г.Шымкент, Республика Казахстан.

Култасов Б.Ш.* – PhD, старший преподаватель кафедры водных ресурсов, землепользования и агротехники, НАО «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», г. Шымкент, Республика Казахстан.

Юсупов Ш. – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры растениеводства и животноводства, НАО «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», г. Шымкент, Республика Казахстан.

Ибрагимова З.А. – PhD, доцент, кафедра механики и машиностроения, НАО «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», г. Шымкент, Республика Казахстан.

В статье исследовано влияние гидрогелевой смеси на рост, развитие и урожайность пшеницы сорта «Стекловидная-24» в условиях недостаточной влажности Туркестанской области. Проведён агрометеорологический анализ данных метеостанции Шымкент, Сайрамского района, за вегетационный период (январь-июнь 2025 г.), отмечен значительный дефицит осадков, что обуславливает актуальность влагосберегающих технологий. В полевых экспериментах применены различные варианты щелевания почвы (20 см, 40 см) и дозы гидрогеля (30 кг/га и 60 кг/га). По данным исследования, оптимальным вариантом является щелевание на 20 см с внесением гидрогелевой смеси в дозе 30 кг/га, при этом урожайность увеличилась на 26,3 ц/га, а на контролльном варианте составила 17,4 ц/га. Лабораторные измерения влагоудерживающей способности подтвердили эффективность применения гидрогеля в пахотном слое почвы (20-30 см). Полученные результаты позволяют обосновать практическое применение щелевания и гидрогелевой обработки как эффективного водосберегающего метода в агротехнологии зерновых культур. Таким образом, применение гидрогелевой смеси 30 кг/га, 35 кг/га P_2O_5 и 30 кг/га K_2O при щелевании на глубину 20 см является научно обоснованным и практически значимым приёмом ресурсосберегающего земледелия в засушливых регионах. Это решение обеспечивает улучшение водного режима почвы и существенный прирост урожайности.

Ключевые слова: гидрогель, влагосберегающие технологии, пшеница «Стекловидная-24», щелевание почвы, урожайность, засушливые условия.

ТУРКІСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚ ЖАГДАЙЫНДА БИДАЙ ШЫҒЫМДЫЛЫҒЫНА ГИДРОГЕЛЬ ҚОСПАСЫНЫҢ ӘСЕРІ

Манабаев Н.Т.– техника ғылымдарының кандидаты, бас ғылыми қызметкер, «INNIOVTECHPRODUCT» ЖШС, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы.

Култасов Б.Ш.* – PhD, су ресурстары, жерді пайдалану және агротехника кафедрасының аға оқытушысы, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы.