

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБКАТОЧНО-ТОРМОЗНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В СКОРОСТНЫХ РЕЖИМАХ ХОЛОДНОЙ ОБКАТКИ

Иншаков Александр Павлович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Мобильные энергетические средства и сельскохозяйственные машины имени профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: kafedra_mes@mail.ru

Байков Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Электроника и электротехника», ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68

E-mail: bdv2304@mail.ru

Курбаков Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Мобильные энергетические средства и сельскохозяйственные машины имени профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: ivankurbakov@mail.ru

Гольшев Михаил Егорович, магистрант кафедры «Мобильные энергетические средства и сельскохозяйственные машины имени профессора А. И. Лещанкина», ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва».

430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68.

E-mail: kafedra_mes@mail.ru

Ключевые слова: стенд, двигатель, обкатка, техника, испытания, характеристики.

Цель исследований – определение функциональных возможностей стенда для обкатки двигателей внутреннего сгорания мобильной сельскохозяйственной техники малой мощности. Для достижения поставленной цели было предложено проводить обкатку двигателей средств малой механизации на разработанном ранее специализированном обкаточно-тормозном стенде, состоящем из асинхронной электрической машины с фазным ротором, подключенной к трехфазной электрической сети и матричному преобразователю частоты, включенному в трехфазную электрическую сеть и состоящему из девяти двунаправленных транзисторных ключей, на которые поступают сигналы пространственно-векторного управления с системы автоматического управления, связанной с контрольно-измерительной аппаратурой на базе персонального компьютера. Для установления действительных характеристик разработанного стенда были сформулированы требования к техническим средствам для обкатки и испытаний двигателей малогабаритной сельскохозяйственной техники и проведены испытания. Экспериментальное определение характеристик осуществлялось в различных режимах, в качестве обкатываемого двигателя был использован дизельный двигатель GREENFIELD GF178 F. Установлены ограничения стенда в области задания частот вращения для бесступенчатого и ступенчатого изменения скоростного режима холодной обкатки ДВС средств малой механизации от 30 до 3000 об/мин (с шагом задания от 1 об/мин) при открытом декомпрессоре и от 500 до 3000 об/мин (с шагом задания от 1 об/мин) – при закрытом. При этом отклонение в поддержании заданного скоростного режима находилось в пределах от 0,2 до 3,3% и уменьшалось с ростом частоты вращения. Разработанный стенд позволяет полноценно воспроизводить скоростные режимы холодной обкатки двигателей малогабаритной сельскохозяйственной техники тягового класса 0,1 и 0,2 при ее создании и техническом сервисе.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE ROLLER BRAKE TESTER FOR RUNNING OF SMALL-BASED ENGINES OF AGRICULTURAL EQUIPMENT IN COLD REGIMES

A. P. Inshakov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshankin», FSBEI HE «Mordoviya State University named after N. P. Ogarev».

430005, Saransk, Bolshevistskaya street, 68.

E-mail: kafedra_mes@mail.ru

D. V. Baikov, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department «Electronics and Electrical Engineering», FSBEI HE «Mordoviya State University named after N. P. Ogarev».

430005, Saransk, Bolshevistskaya street, 68.

E-mail: bdv2304@mail.ru

I. I. Kurbakov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshankin», FSBEI HE «Mordoviya State University named after N. P. Ogarev».

430005, Saransk, Bolshevistskaya street, 68.

E-mail: ivankurbakov@mail.ru

M. Ye. Golyshv, undergraduate student of the department «Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A. I. Leshankin», FSBEI HE «Mordoviya State University named after N. P. Ogarev».

430005, Saransk, Bolshevistskaya street, 68.

E-mail: kafedra_mes@mail.ru

Keywords: tester, engine, running, equipment, tests, characteristics.

The research aim is to determine the function of the tester for running internal combustion engines of mobile agricultural machinery of low power. To this goal, it was proposed to run the engines of small-scale mechanization on the previously developed specialized rolling-brake tester, consisting of an asynchronous electric machine with a phase rotor connected to a three-phase electrical network and a matrix frequency. Converter included in the three-phase electrical network and consisting of nine bidirectional transistor keys, which receive signals of space-vector control from the automatic control system, associated with testing measuring equipment based on a personal computer. To establish the actual characteristics of the developed tester, the requirements for technical means for running and of engines of small-sized agricultural machinery were formulated and trials were carried out. The experimental characterization was carried out in various modes, and a diesel engine F. GREENFIELD GF178 was used as a trial. The limitations of the tester in the field of setting the rotational speed for stepless and step-by-step change in the speed mode of the cold running of the engine of small-scale mechanization from 30 to 3000 rpm (with a task step of 1 rpm) with the decompressor open and from 500 to 3000 rpm (with a task step of 1 rpm) – when closed. At the same time, the deviation in the maintenance of this speed mode was in the range from 0.2 to 3.3% and decreased with the increase in the rotation rate. Designed tester enables you to make speedy modes cold running engines small agricultural machinery power class 0.1 and 0.2 when it was created and technical service.

Одним из способов улучшения технического сервиса двигателей является проведение качественной заводской и послеремонтной обкатки, позволяющей продлить срок службы и увеличить ресурс ДВС. Применительно к двигателям малогабаритной техники (МГТ) заводами-изготовителями и ремонтными предприятиями не производится стендовая обкатка. Однако в технической документации на такие ДВС указывается необходимость данной операции. Заводы-изготовители настоятельно рекомендуют в начальный период эксплуатации провести предварительную обкатку двигателей ввиду необходимости приработки трущихся деталей.

Для ДВС мощностью свыше 16 кВт разработаны и широко применяются в автосервисах и крупных дилерских станциях испытательные обкаточно-тормозные стенды различных конструкций. Однако адаптация их для обкатки и испытаний двигателей МГТ является технически сложной и экономически невыгодной ввиду высокой стоимости таких технических средств (3...50 млн рублей). Поэтому разработка электрического стенда и способов реализации режимов обкатки и испытаний двигателей МГТ является актуальной задачей.

Проведенный анализ стендов для обкатки и испытаний ДВС высокой мощности позволил определить следующие требования к техническим средствам для обкатки и испытаний двигателей малогабаритной сельскохозяйственной техники:

– испытательный стенд должен строиться на базе нагружающих устройств типа «асинхронный двигатель – преобразователь частоты», выполненных с использованием асинхронных электроприводов на базе преобразователей частоты с активным выпрямителем или матричных преобразователей. Использование данных технических решений в конструкции нагружающего устройства испытательного стенда позволит создать специальный стенд для обкатки и испытаний ДВС средств малой механизации, характеризующийся широкими функциональными возможностями, низкой стоимостью и высокой энергетической эффективностью.

– испытательный стенд должен обеспечивать необходимые диапазоны изменения скоростных и нагрузочных режимов, регламентированных государственными стандартами и существующими способами обкатки ДВС. Поэтому для управления скоростным режимом электропривода испытательного стенда двигателей малогабаритной сельскохозяйственной техники необходимо использовать такой способ регулирования скорости и момента асинхронного двигателя, который без использования дополнительных устройств (датчиков обратной связи), способен всесторонне обеспечить полноценную обкатку и испытания существующих двигателей средств малой механизации.

Цель исследований – определение функциональных возможностей стенда для обкатки двигателей внутреннего сгорания мобильной сельскохозяйственной техники малой мощности.

Задачи исследований – провести исследования возможных скоростных режимов холодной обкатки двигателей малогабаритной сельскохозяйственной техники и оценить их стабильность.

Материалы и методы исследований. Для решения обозначенных задач использовался разработанный обкаточно-тормозной стенд, состоящий из асинхронной электрической машины с фазным ротором, подключенной к трехфазной электрической сети и матричному преобразователю частоты, включенному в трехфазную электрическую сеть и состоящему из девяти двунаправленных транзисторных ключей, на которые поступают сигналы пространственно-векторного управления с системы автоматического управления, связанной с контрольно-измерительной аппаратурой на базе персонального компьютера. Экспериментальное определение характеристик осуществлялось на различных режимах, в качестве обкатываемого двигателя был использован дизельный двигатель GREENFIELD GF178 F.

Результаты исследований. Стабильность скоростного режима на этапе холодной обкатки определялась путем ступенчатого изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС. Результаты эксперимента отражены на рисунках 1, 2. При проведении эксперимента частота вращения электрического двигателя испытательного стенда задавалась от 100 об/мин до 3000 об/мин с шагом 100 оборотов.

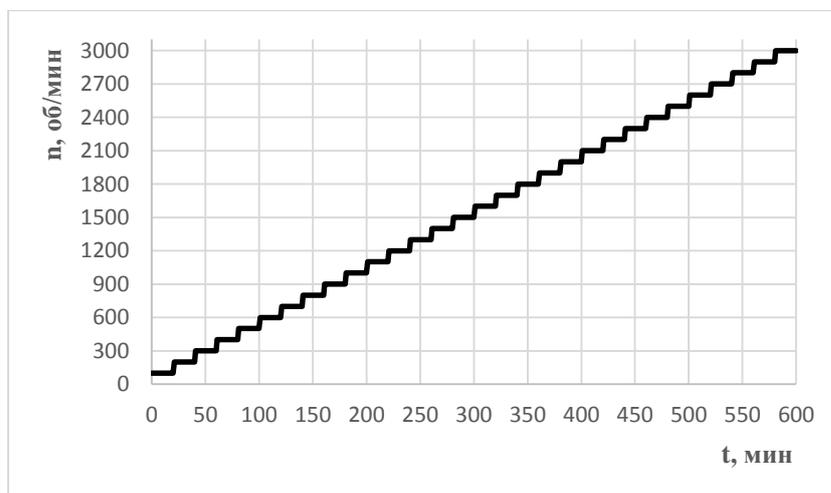


Рис. 1. График ступенчатого изменения скоростного режима на этапе холодной обкатки ДВС (декомпрессор открыт)

Как видно из графика рисунка 1, во всем диапазоне испытаний разработанный стенд обеспечивает высокую стабильность скоростных режимов на каждой ступени обкатки. С течением всего времени обкатки частота вращения вала электрического двигателя испытательного стенда поддерживалась на уровне ± 1 об/мин. С увеличением частоты вращения ротора асинхронного короткозамкнутого двигателя от 100 до 3000 об/мин данный показатель возрастал с ростом частоты вращения и достигал своего максимума на 3000 об/мин – ± 6 об/мин. При этом отклонение в поддержании частоты вращения ротора асинхронного двигателя составило 3,3% при 30 об/мин и 0,2% при 3000 об/мин. Это объясняется трудностью задания и поддержания скоростного режима асинхронного

электропривода с векторным алгоритмом управления без использования датчика скорости именно на низких оборотах. Результаты эксперимента также показали, что разработанный испытательный стенд способен обеспечить ступенчатую обкатку ДВС средств малой механизации тягового класса 0,1 и 0,2 при открытом декомпрессоре в диапазоне от 30 до 3000 об/мин с шагом задания 1 об/мин. Верхняя граница скоростного режима испытательного стенда ограничивается значением 3000 из-за примененного в конструкции стенда асинхронного двигателя с числом пар полюсов 2 и ограниченными функциональными возможностями регулировки частоты вращения преобразователем Mitsubishi FR-A741-5,5K (от 0 до 120 Гц), а нижняя граница – 30 об/мин – возможностями бездатчикового векторного алгоритма управления. При необходимости расширение верхней границы регулирования скоростного режима испытательного стенда возможно установкой на стенд асинхронного короткозамкнутого двигателя с числом пар полюсов 1.

На рисунке 2 показана возможность ступенчатого задания частоты вращения ротора электрического двигателя испытательного стенда с 30 об/мин до 100 об/мин с шагом 10 оборотов.

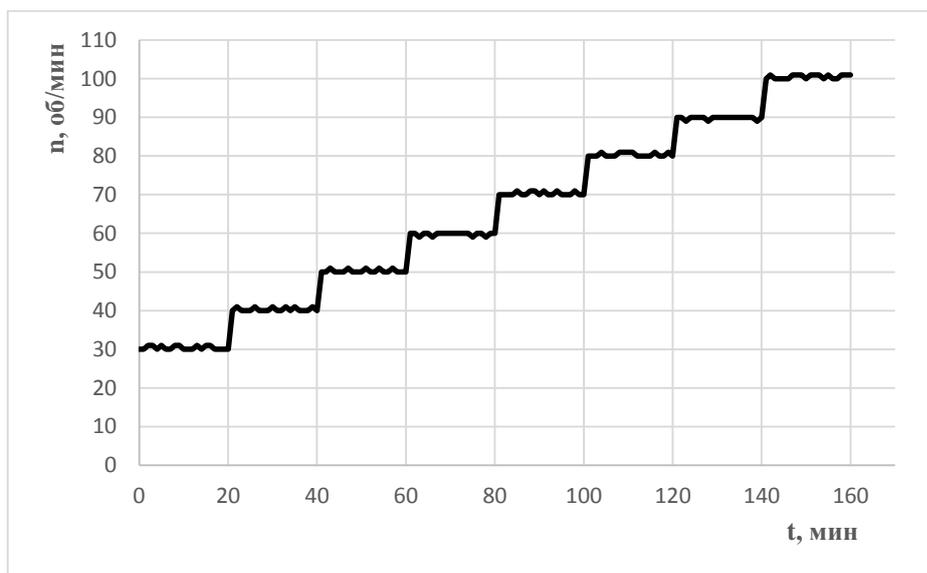


Рис. 2. График ступенчатого изменения скоростного режима на этапе холодной обкатки ДВС на низких оборотах (декомпрессор открыт)

Результаты исследования скоростного режима испытательного стенда при закрытом декомпрессоре отображены на рисунке 3. В ходе проведения данного эксперимента было установлено, что стенд способен обеспечить холодную обкатку ДВС средств малой механизации при закрытом декомпрессоре с 500 об/мин до 3000 об/мин с шагом задания 1 об/мин.

Падение нижней границы диапазона регулирования частоты вращения испытательного стенда двигателей малогабаритной сельскохозяйственной техники с закрытым декомпрессором объясняется возрастанием нагрузки на валу электрического двигателя, что влечет за собой необходимость увеличения вращающего момента электродвигателя, необходимого на прокрутку коленчатого вала ДВС. График зависимости вращающего момента асинхронного двигателя испытательного стенда от частоты вращения коленчатого вала на этапе холодной обкатки ДВС при закрытом декомпрессоре представлен на рисунке 4.

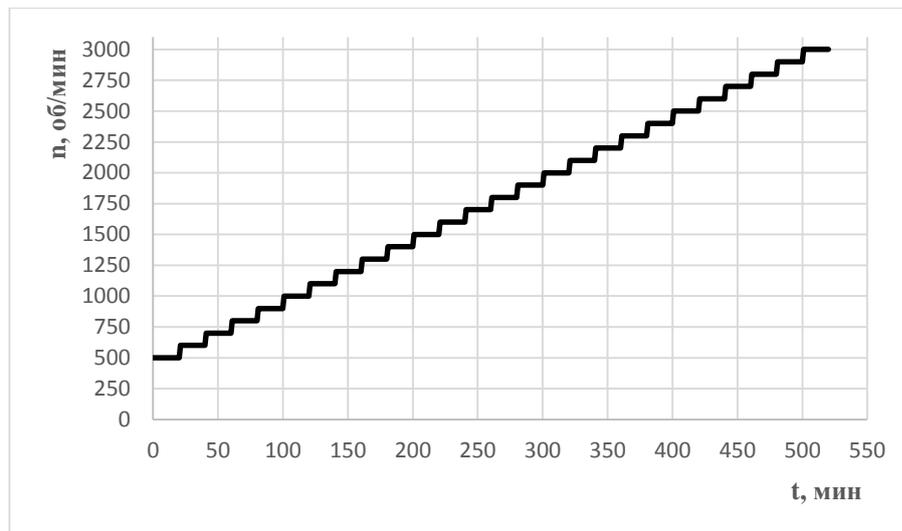


Рис. 3. График ступенчатого изменения скоростного режима на этапе холодной обкатки ДВС (декомпрессор закрыт)

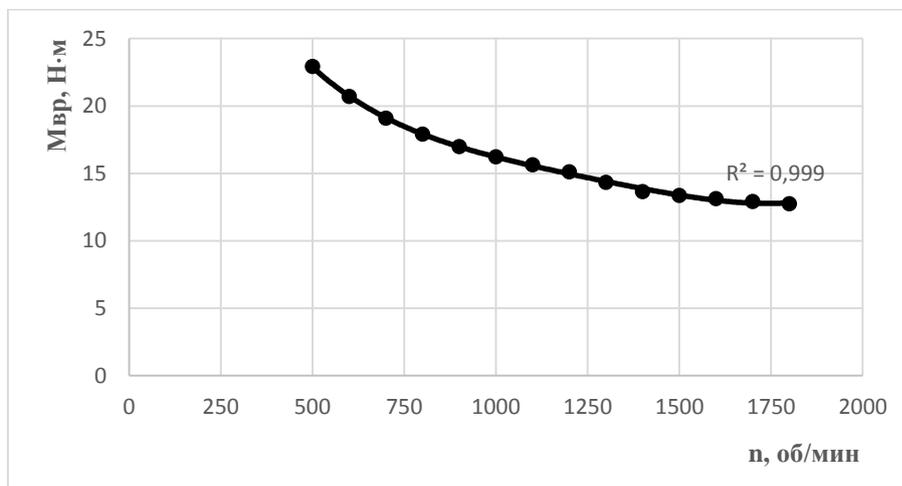


Рис. 4. График зависимости вращающего момента асинхронного двигателя испытательного стенда от частоты вращения коленчатого вала на этапе холодной обкатки ДВС (декомпрессор закрыт)

При этом активная мощность, потребляемая электроприводом испытательного стенда в зависимости от частоты вращения, растет по линейной зависимости, представленной на рисунке 5.

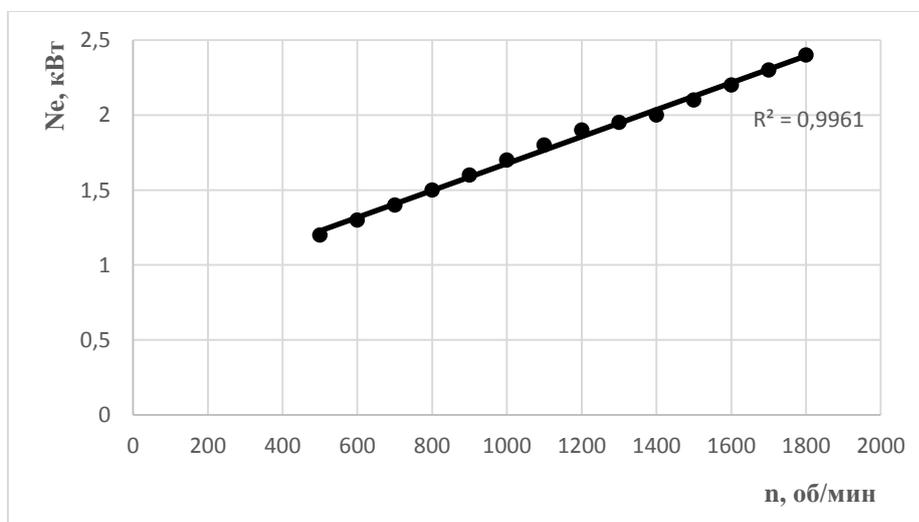


Рис. 5. График зависимости активной мощности, потребляемой электроприводом испытательного стенда, от частоты вращения коленчатого вала на этапе холодной обкатки ДВС (декомпрессор закрыт)

Также в результате проведенных исследований установлена зависимость активной мощности потребляемой электроприводом испытательного стенда от времени обкатки и частоты вращения коленчатого вала ДВС (рис. 6).

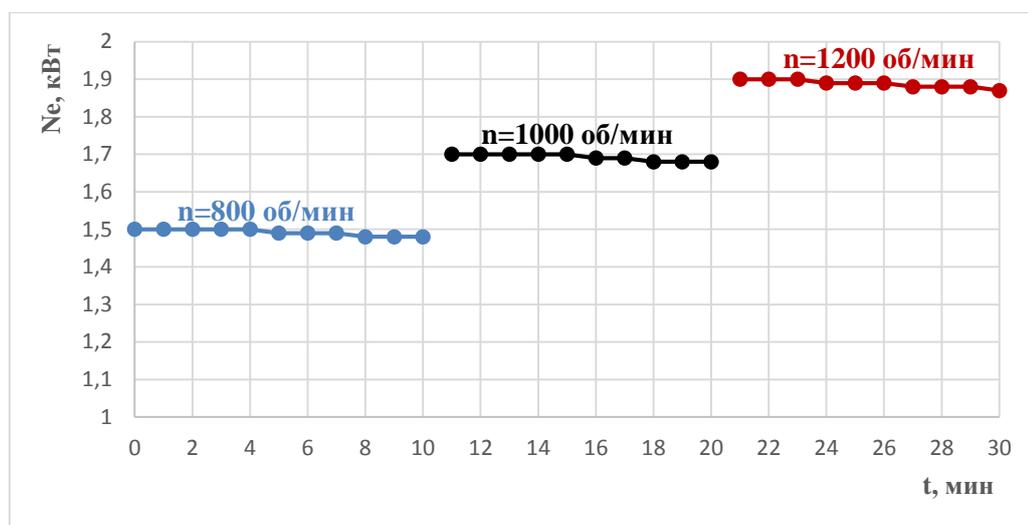


Рис. 6. График зависимости активной мощности, потребляемой электроприводом испытательного стенда, от времени обкатки и частоты вращения коленчатого вала на этапе холодной обкатки ДВС (декомпрессор закрыт)

Из рисунка 6 видно, что активная мощность, потребляемая электроприводом испытательного стенда, в течение времени ступеней линейно снижается, а при переходе на последующие ступени – скачкообразно возрастает. Это объясняется снижением вращающего момента, необходимого на прокрутку, вследствие протекания приработочных процессов и нагрева масла, а также его ростом при увеличении частоты вращения.

Для исследования стенда на этапе холодной обкатки с бесступенчатым изменением скоростного режима в настройки преобразователя частоты Mitsubishi FR-A741-5 были заданы время проведения обкатки (30 мин) и максимальный скоростной режим обкатки (1500 об/мин). Исходя из заданных параметров была построена идеализированная прямая задания скоростного режима и полученная прямая задания скоростного режима, внешний вид которых представлен на рисунке 7.

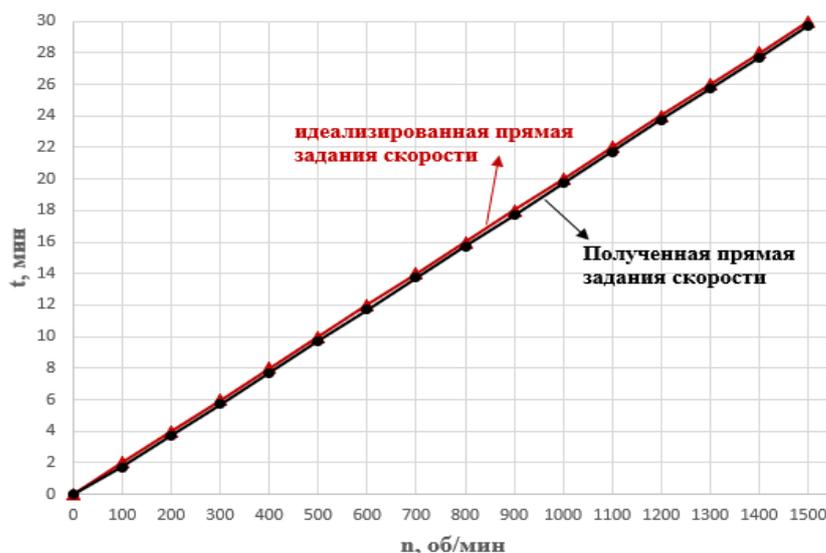


Рис. 7. График бесступенчатого изменения скоростного режима на этапе холодной обкатки ДВС (декомпрессор открыт)

Результаты эксперимента показали незначительное отклонение идеализированной прямой от полученной. Отклонение наблюдалось при разгоне асинхронного двигателя от 0 до 100 оборотов. Время разгона на данном участке составило 1 мин 47 с вместо идеализированных 2 мин. На следующих участках (100-200 ... 1400-1500 оборотов) время разгона составляло 2 мин. Общее время разгона от 0 до 1500 оборотов вместо 30 мин составило 29 мин 47 с. Отклонение по времени при разгоне асинхронного двигателя с 0 до 100 оборотов можно объяснить невозможностью работы данного типа электрического двигателя на сверхнизких оборотах, поэтому электрический двигатель набрал заданный скоростной режим на 13 с быстрее.

Заклучение. Результаты проведенных экспериментальных исследований испытательного стенда ДВС средств малой механизации показали широкий диапазон функциональных возможностей электрического стенда в регулировании частот вращения коленчатого вала двигателя. Также были установлены ограничения стенда в области задания частот вращения для бесступенчатого и ступенчатого изменения скоростного режима холодной обкатки ДВС средств малой механизации от 30 до 3000 об/мин (с шагом задания от 1 об/мин) при открытом декомпрессоре и от 500 до 3000 об/мин (с шагом задания от 1 об/мин) – при закрытом. При этом отклонение в поддержании заданного скоростного режима находилось в пределах от 0,2 до 3,3% и уменьшалось с ростом частоты вращения. Таким образом, разработанный стенд позволяет полноценно воспроизводить скоростные режимы холодной обкатки двигателей малогабаритной сельскохозяйственной техники тягового класса 0,1 и 0,2 при ее создании и техническом сервисе.

Библиографический список

1. Иншаков, А. П. Особенности построения схем электромеханических энергосберегающих стендов для обкатки и испытания автотракторных дизелей / А. П. Иншаков, Д. В. Байков, А. Н. Кувшинов, И. И. Курбаков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 81-85.
2. Иншаков, А. П. К вопросу модернизации и разработки стендов для обкатки и испытаний автотракторных двигателей / А. П. Иншаков, Д. В. Байков, А. Н. Кувшинов, И. И. Курбаков // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 6. – С. 45-48.
3. Иншаков, А. П. Повышение надежности нагружающего устройства типа «машина постоянного тока – тиристорный преобразователь» при проведении обкатки и испытаний мощных автотракторных двигателей / А. П. Иншаков, Д. В. Байков, А. Н. Кувшинов, И. И. Курбаков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 66-69.
4. Иншаков, А. П. Выбор средств технического диагностирования двигателей / А. П. Иншаков, А. Н. Кувшинов, И. И. Курбаков, Д. В. Байков // Сельский механизатор. – 2015. – № 8. – С. 32-33.
5. Байков, Д. В. Стенд для обкатки и испытаний двигателей мобильной сельскохозяйственной техники малой мощности / Д. В. Байков, А. П. Иншаков, С. С. Десяев // Известия самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 2. – С. 51-53.
6. Байков, Д. В. Обкаточно-тормозной стенд двигателя внутреннего сгорания на базе асинхронного электропривода с рекуперативным преобразователем частоты / Д. В. Байков, А. П. Иншаков, Ю. Б. Федотов // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 2. – С. 255-265.
7. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2015616553 РФ. Программа пространственно-векторного управления преобразователем частоты матричного типа в составе стенда обкатки автотракторного двигателя внутреннего сгорания / Байков Д. В., Иншаков А. П., Курбаков И. И. [и др.]. – № 2015613344 ; заявл. 23.04.15 ; зарегистр. 15.06.15.
8. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2015611041 РФ. Программа векторного управления асинхронным электроприводом / Байков Д. В., Десяев С. С. – № 2014662261 ; заявл. 01.12.14 ; зарегистр. 22.01.15.
9. Пат. 159065 РФ, МПК G01M15/00, F02B79/00. Стенд для обкатки и испытаний автотракторного двигателя внутреннего сгорания / Байков Д. В., Иншаков А. П., Курбаков И. И., Кувшинов А. Н. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – № 2015121507/06 ; заявл. 04.06.15 ; опубл. 27.01.16, Бюл. № 3.
10. Пат. 171449 РФ, МПК F02B 79/00, G01M 15/04. Стенд для обкатки и испытаний двигателей внутреннего сгорания мобильной сельскохозяйственной техники малой мощности / Байков Д. В., Иншаков А. П., Курбаков И. И. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – № 2016115292 ; заявл. 19.04.16 ; опубл. 01.06.17, бюл. № 16.

11. Тимохин, С. В. Совершенствование технологии и средств холодной обкатки автотракторных ДВС / С. В. Тимохин, И. С. Королев // *Нива Поволжья*. – 2015. – №1 (34). – С. 61-65
12. Тимохин, С. В. Современные технологии обкатки автотракторных двигателей : монография / С. В. Тимохин, Ю. В. Родионов. – Пенза : Пензенский ГУАС, 2013. – 284 с.
13. Прилепский, Ю. В. Повышение эффективности стендовой обкатки двигателей внутреннего сгорания / Ю. В. Прилепский // *Вестник донецкой академии автомобильного транспорта*. – 2015. – №1. – С. 42-54.
14. Жданко Д. А. Ресурсосбережение при обкатке отремонтированных двигателей совершенствованием обкаточно-тормозного стенда / Д. А. Жданко, А. В. Новиков, Я. Т. Тимошенко // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2009. – №1. – С. 124-127.
15. Тимохин, С. В. Тенденции развития технологий и средств обкатки двигателей автотракторной техники / С. В. Тимохин, И. А. Спицина, И. Г. Голубев // *Труды ГОСНИТИ*. – 2017. – Т.127. – С. 91-96.
16. Чикунов, Ю. М. Энергетический стенд с улучшенными характеристиками / Ю. М. Чикунов, А. М. Чикунов // *Сельский механизатор*. – 2012. – №10. – С. 28-29.

References

1. Inshakov, A. P., Baykov, D. V., Kuvshinov, A. N., & Kurbakov I. I. (2015). Osobennosti postroeniia skhem elektromekhanicheskikh energosberegaiushchikh stendov dlia obkatki i ispytaniia avtotraktornykh dizelei [Features of construction of schemes of Electromechanical energy-saving stands for running and testing of automotive diesel engines]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 3, 81-85 [in Russian].
2. Inshakov, A. P., Baykov, D. V., Kuvshinov, A. N., & Kurbakov, I. I. (2015). K voprosu modernizatsii i razrabotki stendov dlia obkatki i ispytaniia avtotraktornykh dvigatelei [On the issue of modernization and development of stands for running in and testing of tractor engines]. *Tekhnika i oborudovanie dlia sela – Machinery and equipment for the village*, 6, 45-48 [in Russian].
3. Inshakov, A. P., Baykov, D. V., Kuvshinov, A. N., & Kurbakov, I. I. (2015). Povyseniie nadezhnosti nagruzhaiushchego ustroistva tipa «mashina postoyannogo toka – tiristornyi preobrazovatel» pri provedenii obkatki i ispytaniia moshchnykh avtotraktornykh dvigatelei [Improving the reliability of the loading device of the type «DC machine – thyristor Converter» during the run in and testing of highpower tractor engines]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 3, 66-69 [in Russian].
4. Inshakov, A. P., Kuvshinov, A. N., Kurbakov, I. I., & Baykov, D. V. (2015). Vybór sredstv tekhnicheskogo diagnostirovaniia dvigatelei [Selection of technical diagnostics of engines]. *Seliskii mekhanizator – Selskiy Mechanizator*, 8, 32-33 [in Russian].
5. Baikov, V. D., Inshakov, A. P., & Desyaev, S. S. (2016). Stend dlia obkatki i ispytaniia dvigatelei mobilnoi seliskohozyaistvennoi tekhniki maloi moshchnosti [Stand for running and testing of engines in mobile agricultural equipment low power]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 2, 51-53 [in Russian].
6. Baikov, V. D., Inshakov, A. P., & Fedotov, Yu. B. (2018). Obkatochno-tormoznoi stend dvigatel'ia vnutrennego sgoraniia na baze asinhronnogo elektroprivoda s rekuperativnym preobrazovatelem chastoty [Roller-brake tester of the internal combustion engine on the basis of the asynchronous electric drive with regenerative frequency Converter]. *Vestnik Mordovskogo universiteta – Bulletin of the Mordovian University*, 28, 2, 255-265 [in Russian].
7. Baikov, D. V., Inshakov, A. P., Kurbakov, I. I., Kuvshinov, A. N., & Abbakumov, A. A. (2015). Programma prostranstvenno-vektornogo upravleniia preobrazovatelem chastoty matrichno-go tipa v sostavie stenda obkatki avtotraktorного dvigatelya vnutrennego sgoraniia [Program of space-vector control of the frequency Converter matrix type in the composition of the stand running-in motor internal combustion engine]. *Certificate of state registration of computer programs № 2015616553 of the Russian Federation, № 2015613344* [in Russian].
8. Baykov V. D., & Desiaev, S. S. (2015). Programma vektornogo upravleniia asinhronnym elektroprivodom [A program of vector control of asynchronous electric drive]. *Certificate of state registration of computer programs № 2015611041 of the Russian Federation, № 2014662261* [in Russian].
9. Baykov, V. D., Inshakov, A. P., Kurbakov, I. I., & Kuvshinov, A. N. (2016). Stend dlia obkatki i ispytaniia avtotraktorного dvigatel'ia vnutrennego sgoraniia [Stand for running and testing the avcotracting internal combustion engine]. *Patent 159065 Russian Federation, IPC G01M15/00, F02B79/00, №2015121507/06* [in Russian].
10. Baykov, D. V., Inshakov, A. P., Kurbakov, I. I., Kuvshinov, A. N., & Desiaev, S. S. (2017). Stend dlia obkatki i ispytaniia dvigatelei vnutrennego sgoraniia mobilnoi seliskohozyaistvennoi tekhniki maloi moshchnosti [Stand for running and testing of internal combustion engines in mobile agricultural equipment low power]. *Patent 171449 Russian Federation, IPC F02B 79/00, G01M 15/04, №2016115292* [in Russian].

11. Timokhin, S. V., & Korolev, I. S. (2015). Sovershenstvovaniie tekhnologii i sredstv holodnoi obkatki avtotraktornykh DVS [Improvement of technology and facilities cold running AV-tetrachoric DVS]. *Niva Povolzhia – Niva Povolzhya*, 1 (34), 61-65 [in Russian].
12. Timokhin, S. V., & Rodionov, Yu. V. (2013). *Sovremennyye tekhnologii obkatki avtotraktornykh dvigatelej* [Modern technology of running of automotive engines]. Penza: Penza GUAB [in Russian].
13. Prilepskiy, Yu. V. (2015). Povysheniie effektivnosti stendovoi obkatki dvigatelei vnutrennego sgoraniia [Improving the efficiency of bench running of internal combustion engines]. *Vestnik Donetskoi akademii avtomobilinogo transporta – Bulletin of the Donetsk academy of automobile transport*, 1, 42-54 [in Russian].
14. Zhdanko, D. A., Novikov, A. V., & Timoshenko, J. T. (2009). Resursosberezheniie pri obkatke otremonirovannykh dvigatelei sovershenstvovaniem obkatochno-tormoznogo stenda [Resource conservation at a running-in reconditioned engines to improve the roller-brake tester]. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi seliskhoziaistvennoi akademii – Vestnik of the Belarusian state agricultural Academy*, 1, 124-127 [in Russian].
15. Timokhin, S. V., Spitsina, I. A., & Golubev, I. G. (2017). Tendentsii razvitiia tekhnologii i sredstv obkatki dvigatelei avtotraktornoj tekhniki [Trends in the development of technologies and means of running-in of engines of AV-tractor equipment]. *Trudy GOSNITI – Proceedings of GOSNITI*, 127, 91-96 [in Russian].
16. Chikunov, Yu. M., & Chikunov, A. M. (2012). Energeticheskii stend s uluchshennymi harakteristikami [Energy stand with improved performance]. *Selskii mekhanizator – Selskiy Mechanizator*, 10, 28-29 [in Russian].