

5. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
6. Веремей Е.И. Линейные системы с обратной связью: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2013. – 448 с.
7. Ткачук А., Кривовяз В., Копырин В. Тиристорный преобразователь для плавного пуска высоковольтных асинхронных электродвигателей // Силовая электроника. – 2007. – № 1.



УДК 621.43.001.42

А.М. Плаксин, А.В. Гриценко,
А.Ю. Бурцев, К.В. Глемба

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТУРБОКОМПРЕССОРА ДИЗЕЛЕЙ ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОНОМНОГО СМАЗОЧНО-ТОРМОЗНОГО УСТРОЙСТВА

Доказано, что применение тормозного устройства ротора турбокомпрессора, встроенного в систему впуска двигателя внутреннего сгорания, имеющего расчетные конструктивные параметры, сокращает продолжительность выбега ротора на 30–35 %, что, соответственно, даёт возможность уменьшить габариты и время работы гидроаккумулятора при одновременном исключении возникновения явления помпажа в компрессорной части турбокомпрессора, тем самым исключает поломку его деталей. Расчётный экономический эффект составляет в пределах 50–80 тысяч рублей за сезон эксплуатации агрегатов с тракторами различной единичной мощности.

Ключевые слова: двигатель, системы двигателя, турбонаддув, турбокомпрессор, диагностирование, выбег турбокомпрессора, тормозное устройство, гидроаккумулятор, работоспособность, надёжность.

А.М. Plaksin, A.V. Gritsenko,
A.Yu. Burtsev, K.V. Glemba

THE WAY TO ENSURE THE EFFICIENCY OF THE DIESEL ENGINE TURBOCHARGER USING AUTONOMOUS LUBRICATING-BRAKING DEVICE

It is proved that the use of the braking device of the turbocharger rotor integrated in the intake system of the internal combustion engine, that has the estimated structural parameters, reduces the duration of the rotor running-out by 30–35 %, which thus makes it possible to reduce the clearance and the operating time of the hydro-accumulator with the exception of the surge phenomenon emergence in the compressor part of the turbocharger, thus avoiding the breakage of its parts. The estimated economic impact is in the range of 50–80 thousand rubles for the season of the unit operation with the tractors of different unit power.

Key words: engine, engine systems, turbocharging, turbocharger, diagnostics, turbocharger running-out, brake device, the hydro-accumulator, working capacity, reliability.

Введение. На сегодняшний день существует целый ряд способов повышения мощности двигателя [1–5]. Но наиболее эффективным из них является турбонаддув.

Конструктивно и технологически турбокомпрессор взаимосвязан с рядом систем двигателя, что обуславливает их взаимосвязь и взаимовлияние (системы: смазки, охлаждения, впуска, выпуска). Рассмотрим на рисунке 1 взаимосвязь параметров ТКР при резком снижении оборотов коленчатого вала ДВС или его остановке с параметрами процесса смазки, температурой деталей ТКР и временем выбега его ротора.

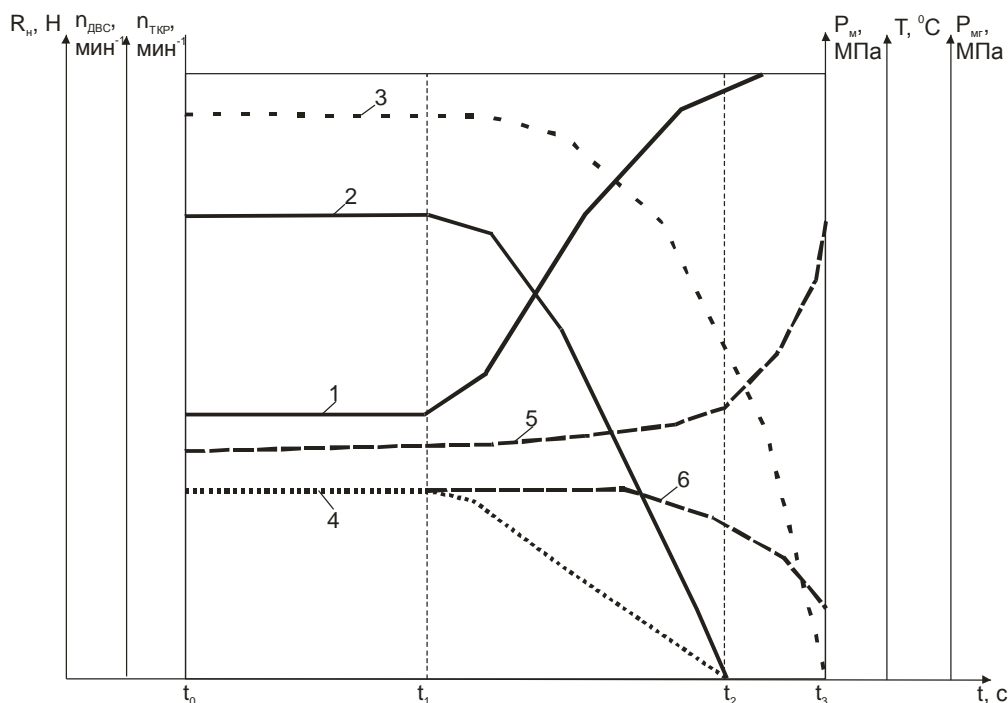


Рис. 1. Взаимосвязь параметров ТКР при резком снижении оборотов коленчатого вала ДВС или его остановке с параметрами процесса смазки, температурой деталей ТКР и временем выбега его ротора: 1 – внешняя нагрузка на ДВС $R_n, Н$; 2 – частота вращения коленчатого вала ДВС $n_{ДВС}, \text{мин}^{-1}$; 3 – частота вращения ротора турбокомпрессора, $n_{ТКР}, \text{мин}^{-1}$; 4 – давление масла в масляной магистрали перед подшипником ТКР, $P_m, \text{МПа}$; 5 – температура деталей ТКР $T, ^\circ\text{C}$; 6 – давление масла в масляной магистрали перед подшипником ТКР при использовании гидроаккумулятора, $P_{мг}, \text{МПа}$; t_0 – начальный момент времени, с; t_1 – момент времени, соответствующий началу роста нагрузки на ДВС, с; t_2 – момент времени, соответствующий полной остановке коленчатого вала ДВС, с; t_3 – момент времени, соответствующий полной остановке ротора ТКР, с

На временном участке t_2 – t_3 осуществляется свободный выбег ротора ТКР фактически при нулевом давлении в масляной магистрали перед подшипником ТКР. Данный процесс сопровождается локальным перегревом масла в зазоре подшипника ТКР и, как следствие, его закоксовыванием. В тот же момент температура других элементов ТКР также выходит за пределы штатного режима функционирования. Все это сопровождается недопустимым тепловым расширением деталей и пластическими деформациями.

Снизить тепловую напряженность деталей ТКР и обеспечить параметры выбега, эквивалентные штатной работе ТКР, позволяет установка в масляную магистраль гидроаккумулятора, осуществляющего подпитку пар трения в период свободного выбега ротора ТКР. При использовании гидроаккумулятора изменение величины давления масла в масляной магистрали перед подшипником ТКР происходит по кривой 6. Данное мероприятие позволяет увеличить срок службы ТКР без дополнительных конструктивных доработок его деталей.

Цель исследования. Исследовать процесс выбега турбокомпрессора дизелей при использовании автономного смазочно-тормозного устройства.

Задачи исследования:

1. Дать аналитическое описание взаимосвязи продолжительности выбега ротора турбокомпрессора при резком снижении оборотов коленчатого вала ДВС с параметрами смазочно-тормозного устройства.

2. Разработать программу и провести стендовые и эксплуатационные испытания ДВС при использовании автономного смазочно-тормозного устройства турбокомпрессора.

Теоретические исследования. Перед представлением модели, связывающей параметры свободного выбега, следует указать на широкое изучение данного вопроса различными авторами [1–4].

Уравнение движения ротора турбокомпрессора в общем виде можно записать так [1]

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_T - M_K - M_M, \quad (1)$$

где $J \cdot \frac{d\omega}{dt}$ – момент от сил инерции движущихся масс ротора, $H \cdot м$; J – момент инерции ротора относительно оси, $кг \cdot м^2$; $\frac{d\omega}{dt}$ – угловое ускорение (замедление) ротора, $\frac{рад}{с^2}$; M_T – эффективный момент, развиваемый турбиной, $H \cdot м$; M_K – момент, потребляемый компрессором, $H \cdot м$; M_M – момент механических сопротивлений вращению ротора, $H \cdot м$.

При осуществлении выбега ТКР примем допущение, что M_K и M_T равны нулю, тогда уравнение движения ротора примет следующий вид:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_{ТОРМ}. \quad (2)$$

Методика исследований. При проведении экспериментальных исследований использовался стенд с гидроаккумулятором и тормозным устройством (рис. 2) [5–8].



Рис. 2. Стенд для проведения экспериментальных исследований с гидроаккумулятором и тормозным устройством

Результаты экспериментальных исследований. Для подтверждения теоретических предположений были проведены экспериментальные исследования по оценке времени выбега турбокомпрессоров ТКР-11 [4–8].

Проведем сравнение экспериментальных результатов, полученных при четырех различных вариантах выбега.

На рисунке 3 представлена экспериментально полученная зависимость частоты вращения ротора турбокомпрессора марки ТКР-11 от времени выбега.

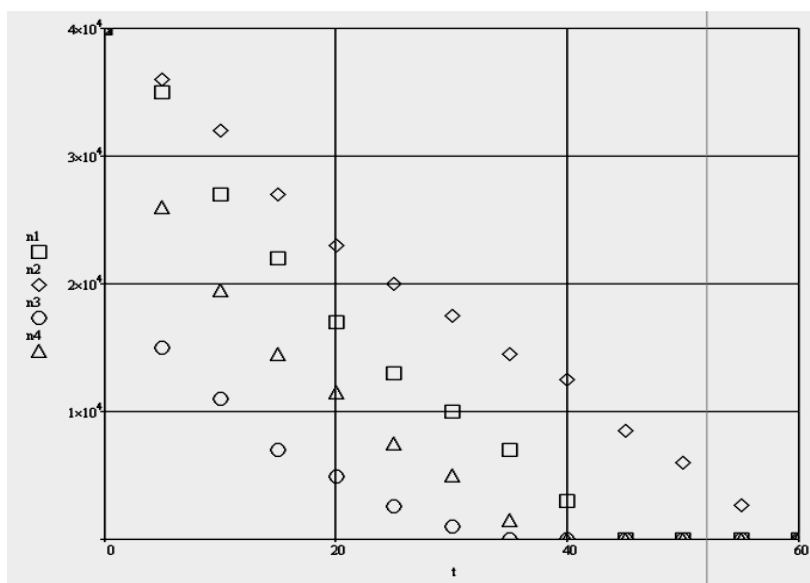


Рис. 3. Зависимость частоты вращения n_1, n_2, n_3, n_4 рад/с от времени выбега t, c :
1 – выбег ротора в штатном режиме; 2 – выбег ротора с включённым гидроаккумулятором;
3 – выбег ротора с тормозным устройством; 4 – выбег ротора с включённым гидроаккумулятором и тормозным устройством

Для определения величины замедления при свободном выбеге производили вычисление первой производной от значений частоты вращения ротора ТКР. В результате получили зависимость замедления ротора ТКР от времени выбега (рис. 4).

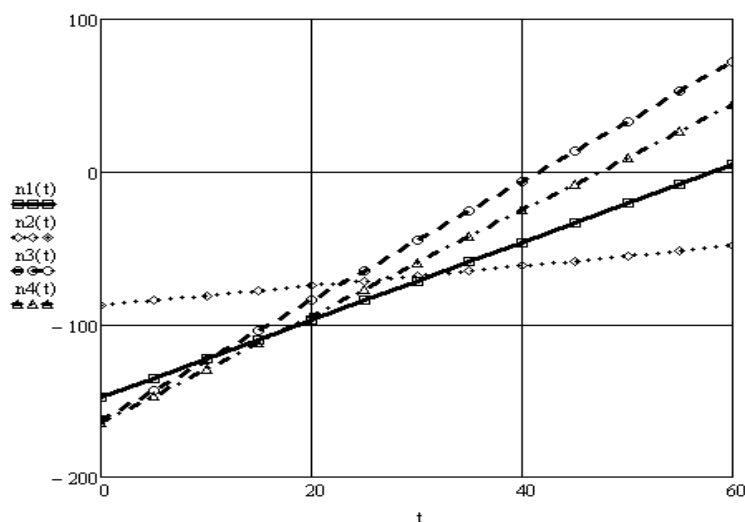


Рис. 4. Зависимость замедления $n_1(t), n_2(t), n_3(t), n_4(t)$ рад/с² от времени выбега t, c

Для определения величины момента сопротивления вращению ротора ТКР произвели умножение величин замедления на момент инерции ротора ТКР. В результате получили зависимость тормозного момента от времени выбега (рис. 5).

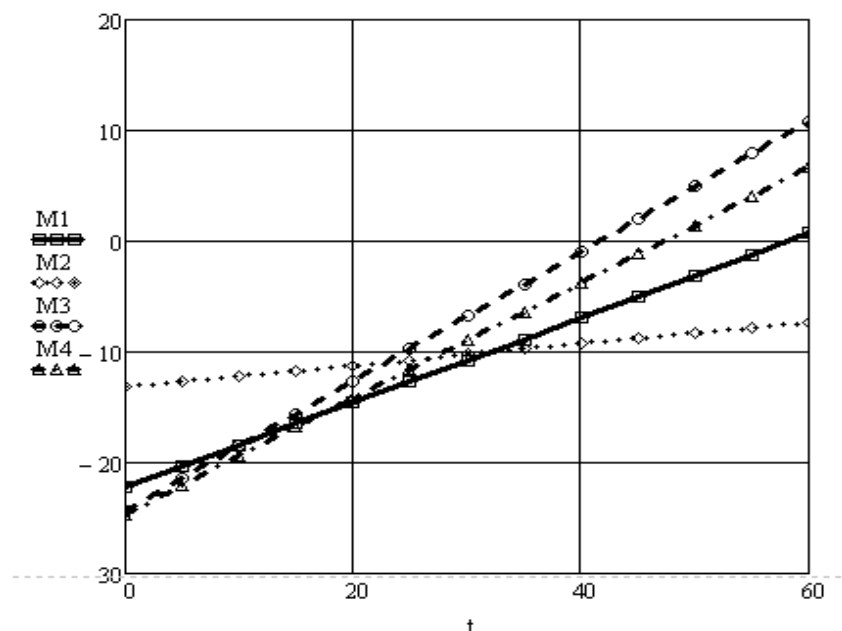


Рис. 5. Зависимость тормозного момента $M1, M2, M3, M4, Н \cdot м$ от времени выбега $t, с$

При анализе данных на рисунках 3–5 и в общем по результатам работы можно сделать следующие **выводы**:

При совместном использовании гидроаккумулятора с тормозным устройством величина времени выбега ротора уменьшилась в среднем на 30–35 % по сравнению с величиной времени при свободном выбега (линия 4 на рис. 3–5).

Установленный в систему смазки турбокомпрессора дизеля гидроаккумулятор позволяет осуществлять штатную смазку и охлаждение подшипников ротора при падении оборотов коленчатого вала ДВС, а также при его остановке при перегрузке в режиме выбега ротора. Внедрение тормозного устройства позволяет сократить время выбега ротора и тем самым предотвратить наступление масляного голодания и сухого трения подшипника ротора. Совместное применение гидроаккумулятора и тормозного устройства позволяет снизить до минимума риск наступления сухого трения и аварийного выхода из строя турбокомпрессора.

Литература

1. Носырев Д.Я., Свечников А.А., Становова Ю.Ю. Определение технического состояния турбокомпрессора и приводного центробежного нагнетателя // Вестник Ростов. гос. ун-та путей сообщения. – Ростов н/Д, 2010. – Вып 3. – С. 59–63.
2. Малаховецкий А.Ф. Повышение надёжности турбокомпрессоров автотракторных двигателей путём снижения их теплонапряжённости: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2005. – 141 с.
3. Потапов С.В. Повышение долговечности капитально отремонтированных тракторных дизелей применением гидроаккумулятора в смазочной системе: дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1999. – 181 с.
4. Диагностирование системы выпуска двигателей внутреннего сгорания путем контроля сопротивления выпускного тракта / А.В. Гриценко, А.М. Плаксин, С.Э. Бисенов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8. – С. 322–326.
5. Продление срока службы турбокомпрессоров автотракторной техники применением гидроаккумулятора в системе смазки / А.М. Плаксин, А.В. Гриценко, А.Ю. Бурцев [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6. – С. 728–732.

6. Увеличение надежности турбокомпрессоров автотракторной техники применением гидроаккумулятора / А.М. Плаксин, А.В. Гриценко, А.Ю. Бурцев [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 8. – С. 176–180.
7. Гриценко А.В. Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем питания и смазки двигателей внутреннего сгорания (экспериментальная и производственная реализация на примере ДВС автомобилей): дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 2014. – 397 с.
8. Результаты экспериментальных исследований времени выбега ротора турбокомпрессора ТКР-11 / А.М. Плаксин, А.В. Гриценко, А.Ю. Бурцев [и др.] // Вестник ЧГАА. – 2014. – Т. 70. – С. 130–135.



УДК 621.333.2.001.57

А.Ю. Прудников, В.В. Боннет, А.Ю. Логинов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОМ РОТОРА

В статье приведено математическое описание асинхронного электродвигателя при эксцентриситете ротора, составлена система уравнений относительно токов и потокоцеплений обмоток.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, эксцентриситет, математическая модель.

A.Yu. Prudnikov, V.V. Bonnet, A.Yu. Loginov

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE INDUCTION MOTOR WITH THE ROTOR ECCENTRICITY

The article presents the mathematical description of the induction motor in the rotor eccentricity, the system of equations for the currents and winding flux linkages is composed.

Key words: induction motor, eccentricity, mathematical model.

Введение. Асинхронный двигатель получил широкое распространение в сельском хозяйстве. От надежности этого элемента в большой степени зависит функционирование всего технологического процесса. В ходе исследований было установлено, что 40 % повреждений асинхронного двигателя возникает по причине неисправности подшипника [1]. Поэтому существует необходимость корректировки математической модели АД с учетом эксцентриситета ротора для выявления диагностических взаимосвязей.

Определение связей между диагностируемым дефектом и диагностическим признаком может быть осуществлено экспериментально или на основе математической модели, которая позволит определить эту связь теоретически. Следует учитывать, что математическая модель не может отражать все факторы, характеризующие реальный объект, и поэтому полного соответствия с экспериментом получить не представляется возможным. К достоинству математической модели относится то, что у объекта можно создавать дефекты и изменять степень их проявления. При этом продолжительность расчетов модели занимает значительно меньше времени, чем проведение эксперимента.

Простейшая модель асинхронного двигателя имеет вид двухфазного электромеханического преобразователя с двумя обмотками на статоре и роторе, сдвинутыми относительно друг друга по фазе на 90° (рис. 1) [2, 3].