

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

УДК 629.4.016.2

Определение затрат энергии на возбуждение тягового генератора по данным микропроцессорных систем управления для прогнозирования тяговой характеристики локомотива

Д. Н. Курилкин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Курилкин Д. Н. Определение затрат энергии на возбуждение тягового генератора по данным микропроцессорных систем управления для прогнозирования тяговой характеристики локомотива // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 1. — С. 103–0117. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-103-117

Аннотация

Цель: Разработка и апробация методики определения затрат энергии на возбуждение тягового генератора тепловоза на этапе прогнозирования тяговой характеристики локомотива. При определении мощности дизеля, затрачиваемой на возбуждение тягового генератора, при прогнозировании тягово-энергетических характеристик тепловоза необходимо учитывать текущее техническое состояние возбудителя и тягового синхронного генератора. Эта задача может быть решена в результате статистического анализа информации, регистрируемой подсистемой бортовой диагностики современных тепловозов. **Методы:** В работе использованы методы препроцессорной обработки массива информации и статистического анализа сформированной выборки. **Результаты:** Получены зависимости, позволяющие с высокой точностью прогнозировать затраты мощности на возбуждение тягового генератора в различных режимах работы тепловоза на основе предварительного анализа данных подсистемы бортовой диагностики. Необходимость такого анализа обусловлена большим разбросом параметров магнитной системы тяговых синхронных генераторов, и, соответственно, значений мощности, затрачиваемой на их возбуждение, который для генераторов ГС501А тепловозов 2ТЭ116У достигает 100% при мощности до 40 кВт. **Практическая значимость:** Полученные результаты помогают повысить точность определения тягово-энергетических свойств конкретного локомотива.

Ключевые слова: Энергоэффективность, возбуждение тягового генератора, затраты энергии на возбуждение генератора, вспомогательные нагрузки.

Введение

Одной из важнейших задач, возникающих при эксплуатации локомотивного парка, является снижение расхода топливно-энергетических ресурсов за счет применения энергооптимальных режимов ведения поезда, в том числе с

использованием функций автоведения, что предполагает выполнение предварительных тяговых расчетов. Одним из основных условий достоверности результатов тяговых расчетов является использование для расчета реальной тяговой характеристики локомотива на всех позициях контроллера [1, 2]. Построение достоверной тяговой характеристики невозможно без информации о реальном техническом состоянии энергетической цепи локомотива, в том числе о доле энергии топлива, отбираемой на привод вспомогательных нагрузок локомотива.

Неотъемлемым звеном энергетической цепи современного локомотива являются микропроцессорные системы управления с подсистемами бортовой диагностики. Регистрируемая ими информация позволяет эффективно решать задачу определения энергии, затрачиваемой на привод вспомогательных нагрузок, для каждого локомотива [3].

Целью данной работы является разработка методики и получение аналитических зависимостей для прогнозирования затрат энергии на возбуждение синхронного тягового генератора по данным подсистемы бортовой диагностики.

Решение задачи осуществлялось на примере тепловозов серии 2ТЭ116У, однако предлагаемый подход может использоваться и для локомотивов других серий, имеющих соответствующие устройства регистрации информации.

Затраты энергии на возбуждение синхронного тягового генератора складываются из затрат энергии на возбуждение самого синхронного генератора и синхронного возбудителя [4].

Определение затрат энергии на возбуждение синхронного тягового генератора

Подсистемой диагностики МСУ-ТП напряжение на зажимах ротора синхронного возбудителя не контролируется [5], поэтому для определения мощности, затрачиваемой на возбуждение синхронного тягового генератора $P_{\text{ВТГ}}$, может быть использована следующая зависимость [6]:

$$P_{\text{ВТГ}} = \frac{I_{\text{ВТГ}}^2 \cdot (r_{\text{ОВТГ}} + r_{\text{РСВ}})}{\eta'_{\text{СВ}} \cdot \eta_{\text{УВ}}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{ВТГ}}$ — ток обмотки возбуждения тягового генератора (А);

$r_{\text{ОВТГ}}$ — активное сопротивление обмотки возбуждения тягового генератора (Ом), Ом;

$r_{\text{РСВ}}$ — активное сопротивление обмотки ротора синхронного возбудителя (Ом);

$\eta'_{\text{СВ}}$ — коэффициент полезного действия синхронного возбудителя без учета потерь электрической энергии на обмотке ротора синхронного возбудителя;

$\eta_{\text{ув}}$ — коэффициент полезного действия управляемого выпрямителя системы возбуждения синхронного тягового генератора.

Согласно [7, 8] при температуре обмоток 20 °С активное сопротивление обмотки возбуждения синхронного тягового генератора ГС501А составляет 0,51 Ом, а активное сопротивление обмотки ротора синхронного возбудителя ВС-650В 0,0425 Ом. При температуре, отличной от 20 °С, сопротивление обмоток должно быть пересчитано по следующей зависимости [9]:

$$r_t = r_{20} \cdot (1 + \alpha_m \cdot (t^\circ - 20^\circ\text{C})), \quad (2)$$

где r_{20} — сопротивление обмотки при температуре обмоток 20 °С;

t° — температура нагрева обмотки °С;

α_m — коэффициент влияния температуры (0,0039 Ом/°С).

Приняв расчетную температуру нагрева обмоток в 100 °С, получим активное сопротивление обмотки возбуждения тягового генератора $r_{\text{овтг}} = 0,67$ Ом, а активное сопротивление обмотки ротора синхронного возбудителя $r_{\text{рсв}} = 0,056$ Ом.

В соответствии с [7], к. п. д. возбудителя в номинальном режиме составляет 0,76. Учитывая соотношение сопротивлений обмотки ротора синхронного возбудителя и обмотки возбуждения синхронного генератора, уровень электрических потерь в первом приближении можно принять равным 0,09 от мощности возбудителя. Таким образом, величина $\eta'_{\text{св}}$ составит не более 0,85 в номинальном режиме работы. С учетом того, что значительную часть времени возбудитель работает в ненормальных режимах, величина коэффициента $\eta'_{\text{св}}$ с достаточной степенью достоверности может быть принята равной 0,8.

Коэффициент полезного действия управляемого выпрямителя $\eta_{\text{ув}}$ системы возбуждения с достаточной степенью достоверности можно принять равным 0,98.

Из общего вида нагрузочной характеристики синхронного тягового генератора [8, 9] можно сделать вывод о том, что величина тока возбуждения тягового генератора $I_{\text{втг}}$ в каждом режиме работы электрической передачи определяется

текущими значениями отношения $\frac{E_{\text{ГФ}}}{n_{\text{Г}}}$ и действующего значения фазного тока статорной обмотки генератора $I_{\text{ГФ}}$:

$$I_{\text{втг}} = f\left(\frac{E_{\text{ГФ}}}{n_{\text{Г}}}; I_{\text{ГФ}}\right), \quad (3)$$

где $E_{\text{ГФ}}$ — фазная э. д. с. синхронного тягового генератора; $n_{\text{Г}}$ — частота вращения ротора тягового генератора.

При обработке статистической информации данная зависимость может быть аппроксимирована полиномом второй степени вида:

$$I_{\text{втт}} = A \cdot \left(\frac{E_{\text{ГФ}}}{n_{\text{Г}}} \right)^2 + B \cdot \left(\frac{E_{\text{ГФ}}}{n_{\text{Г}}} \right) + C \cdot I_{\text{ГФ}}^2 + D \cdot I_{\text{ГФ}} + G, \quad (4)$$

где A, B, C, D, G — постоянные коэффициенты.

Значения коэффициентов A, B, C, D, G в выражении (4) могут быть определены с использованием метода наименьших квадратов [10, 11].

Значения фазных токов, напряжений и э. д. с. тягового генератора могут определяться с использованием токов и напряжений на выходе управляемых выпрямителей по следующим зависимостям:

$$U_{\text{ГФ}} = \frac{\pi}{3 \cdot \sqrt{6}} \cdot U_{d4-6}; \quad (5)$$

$$I_{\text{ГФ}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sum_{j=1}^6 I_j; \quad (6)$$

$$E_{\text{ГФ}} = U_{\text{ГФ}} + I_{\text{ГФ}} \cdot r_{\text{ф}}, \quad (7)$$

где $U_{\text{ГФ}}$ — фазное напряжение тягового генератора;

$I_1 - I_6$ — токи якорных обмоток соответствующих тяговых электродвигателей;

U_{d1-6} — действующее значение напряжения на выходе управляемых выпрямителей;

$r_{\text{ф}}$ — активное сопротивление фазы обмотки статора, согласно [7] $r_{\text{ф}} = 0,0011$ Ом.

Для определения значений коэффициентов уравнения (4) использовались данные, записанные в систему диагностики МСУ-ТП 14 секций тепловозов 2ТЭ116У. С целью исключения влияния переходных процессов в дизель-генераторной установке и тяговом приводе на результаты расчета отбор данных для обработки из исходного массива информации выполнялся с учетом следующих ограничений:

- с момента переключения позиции контроллера прошло не менее 30 секунд;
- с момента включения/выключения ступени ослабления возбуждения тяговых электродвигателей прошло не менее 10 секунд;
- напряжение на выходе управляемого выпрямителя не менее 12В.

Адекватность модели (4) оценивалась с использованием коэффициента детерминации R^2 и средней ошибки аппроксимации \bar{A} [11].

Полученные в результате обработки данных коэффициенты аппроксимации, а также значения коэффициента детерминации и средней ошибки аппроксимации для 14 секций локомотивов серии 2ТЭ116У приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчета коэффициентов для определения тока возбуждения синхронного тягового генератора тепловозов 2ТЭ116У

№ п/п	№ тепловоза (секция)	Коэффициенты уравнения					Статистические характеристики		
		A	B	$C \cdot 10^{-6}$	D	G	n	R ²	\bar{A} , %
1	№ 078А	420,2	3,060	12,71	0,03321	14,18	26 069	0,994	2,33
2	№ 078Б	466,2	-12,72	8,90	0,04055	12,57	25 011	0,996	1,48
3	№ 079А	785,2	-46,62	11,50	0,03303	22,47	28 799	0,978	1,73
4	№ 080А	836,2	-42,71	12,72	0,02937	23,83	31 600	0,994	0,82
5	№ 082Б	519,5	-40,06	9,62	0,03963	14,56	25 561	0,988	1,54
6	№ 107А	791,9	-59,92	12,88	0,03293	23,23	14 975	0,973	2,68
7	№ 109Б	683,8	-3,36	12,91	0,03109	20,61	30 904	0,988	2,58
8	№ 110А	711,3	-20,53	10,28	0,03563	19,57	19 206	0,996	1,99
9	№ 124Б	794,0	-34,84	9,40	0,03583	21,39	32 714	0,988	1,75
10	№ 135А	814,4	-32,63	12,35	0,02979	23,10	21 818	0,996	1,29
11	№ 143А	501,9	-3,18	9,6	0,04029	9,15	25 443	0,991	2,18
12	№ 143Б	493,0	-8,37	10,07	0,03821	10,79	29 083	0,992	2,27
13	№ 154А	821,2	-37,71	10,07	0,03405	23,06	29 886	0,994	2,10
14	№ 154Б	792,7	-41,05	10,42	0,03311	23,47	23 894	0,988	3,08
—	Среднее	673,7	-27,19	10,96	0,0348	18,72	—	—	—

Примечание: n — число обработанных записей.

Как следует из данных табл. 1, для всех секций локомотивов коэффициент детерминации составляет не менее 0,97, а средняя ошибка аппроксимации не превышает 3,1 %, что свидетельствует об адекватности выбранной модели аппроксимации. В строке «Среднее» приведены результаты расчета усредненных для всех 14 секций коэффициентов уравнения (4), которые могут быть использованы при отсутствии статистической информации для данного локомотива.

На рис. 1 приведены зависимости $I_{\text{вгг}} = f\left(\frac{E_{\text{ГФ}}}{n_{\text{Г}}}\right)$ для тепловоза 2ТЭ116У

№ 078 секция А при разных значениях фазного тока генератора $I_{\text{ГФ}}$.

На рис. 2–4 показаны результаты расчета тока возбуждения тягового генератора с использованием выражения (4) и коэффициентов табл. 1 для тепловозов 2ТЭ116У № 078(А), № 078(Б), № 154(А), № 154(Б), а также среднего по 14 секциям при значениях фазного тока тягового генератора 500, 1000 и 1500А соответственно.

Как следует из рис. 2–4, разброс значений тока возбуждения тягового генератора при одних и тех же значениях выходных параметров разных локомотивов может достигать 20 %.

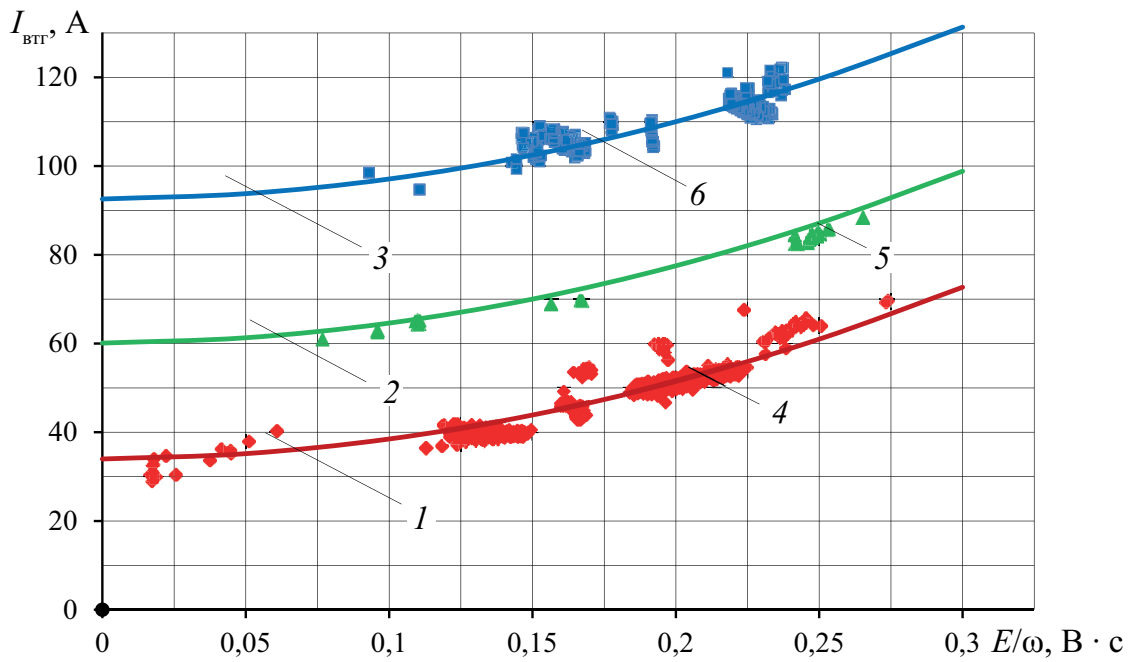


Рис. 1. Результаты определения тока возбуждения тягового генератора тепловоза 2ТЭ116У № 078 секция А:
 1, 2, 3 — расчетные значения тока возбуждения тягового генератора при величине фазного тока генератора 500, 1000 и 1500А соответственно; 4, 5, 6 — измеренные значения тока возбуждения тягового генератора при величине фазного тока генератора 450-550, 950-1050 и 1450-1550 А соответственно

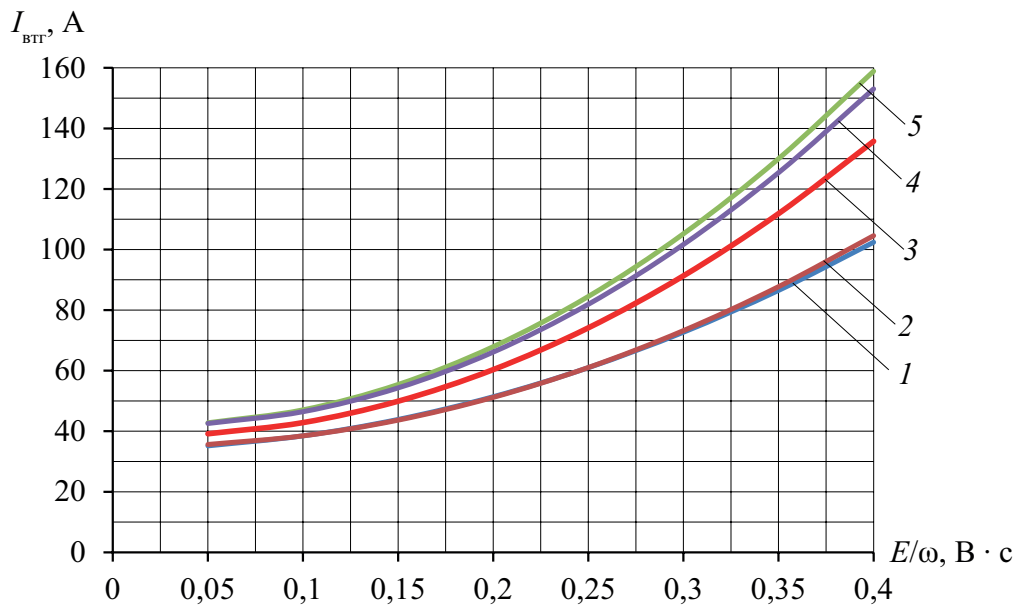


Рис. 2. Результаты расчета тока возбуждения тягового генератора при величине фазного тока генератора 500А:
 1 — тепловоз № 078 секция А; 2 — тепловоз № 078 секция Б;
 3 — результаты расчета по коэффициентам графы «Среднее» табл. 1;
 4 — тепловоз № 154 секция А; тепловоз № 154 секция Б

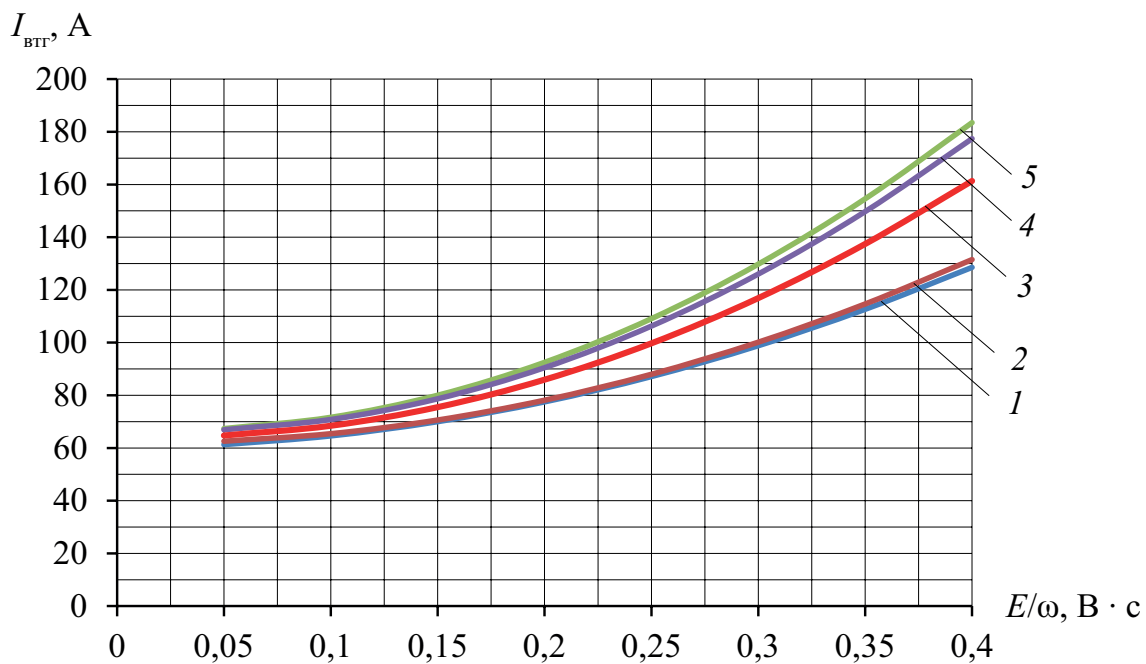


Рис. 3. Результаты расчета тока возбуждения тягового генератора при величине фазного тока генератора 1000А:
 1 — тепловоз № 078 секция А; 2 — тепловоз № 078 секция Б;
 3 — результаты расчета по коэффициентам графы «Среднее» табл. 1;
 4 — тепловоз № 154 секция А; тепловоз № 154 секция Б

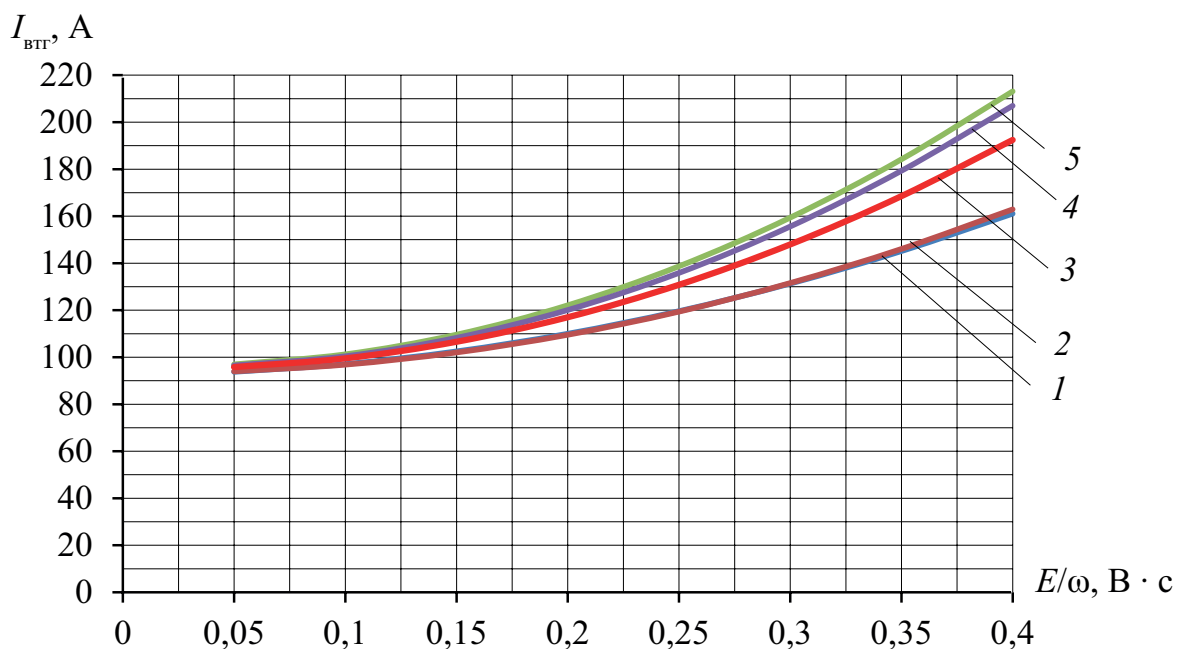


Рис. 4. Результаты расчета тока возбуждения тягового генератора при величине фазного тока генератора 1500А:
 1 — тепловоз № 078 секция А; 2 — тепловоз № 078 секция Б;
 3 — результаты расчета по коэффициентам графы «Среднее» табл. 1;
 4 — тепловоз № 154 секция А; тепловоз № 154 секция Б

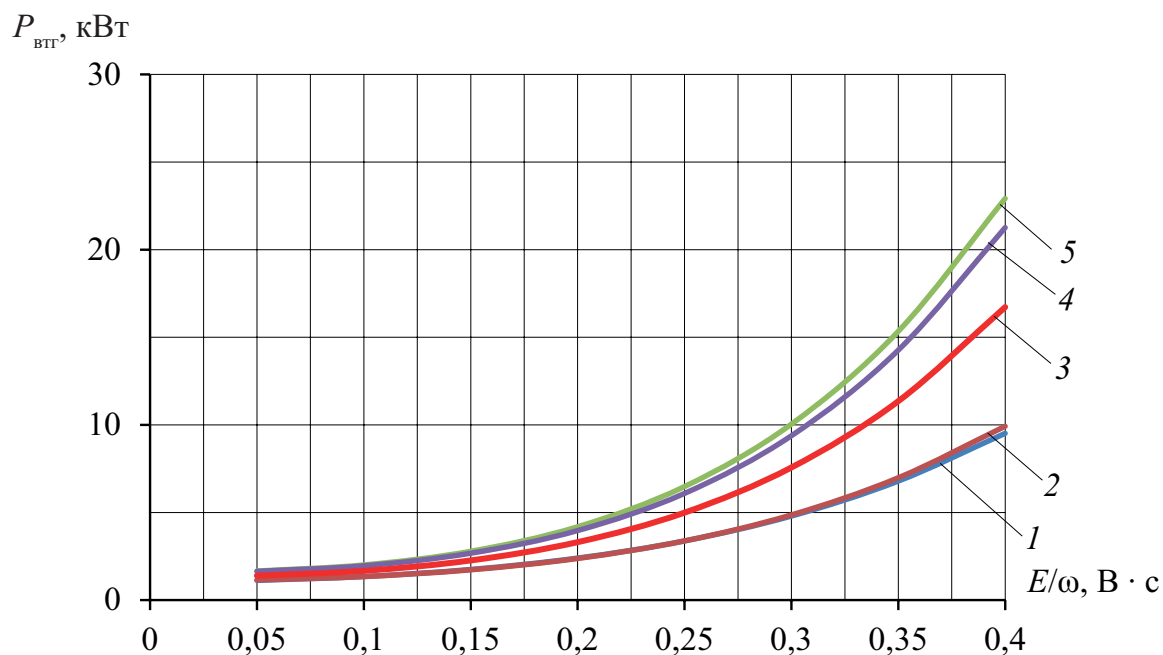


Рис. 5. Мощность, затрачиваемая на возбуждение тягового генератора при величине фазного тока генератора 500А:
 1 — тепловоз № 078 секция А; 2 — тепловоз № 078 секция Б;
 3 — результаты расчета по коэффициентам графы «Среднее» табл. 1;
 4 — тепловоз № 154 секция А; тепловоз №154 секция Б

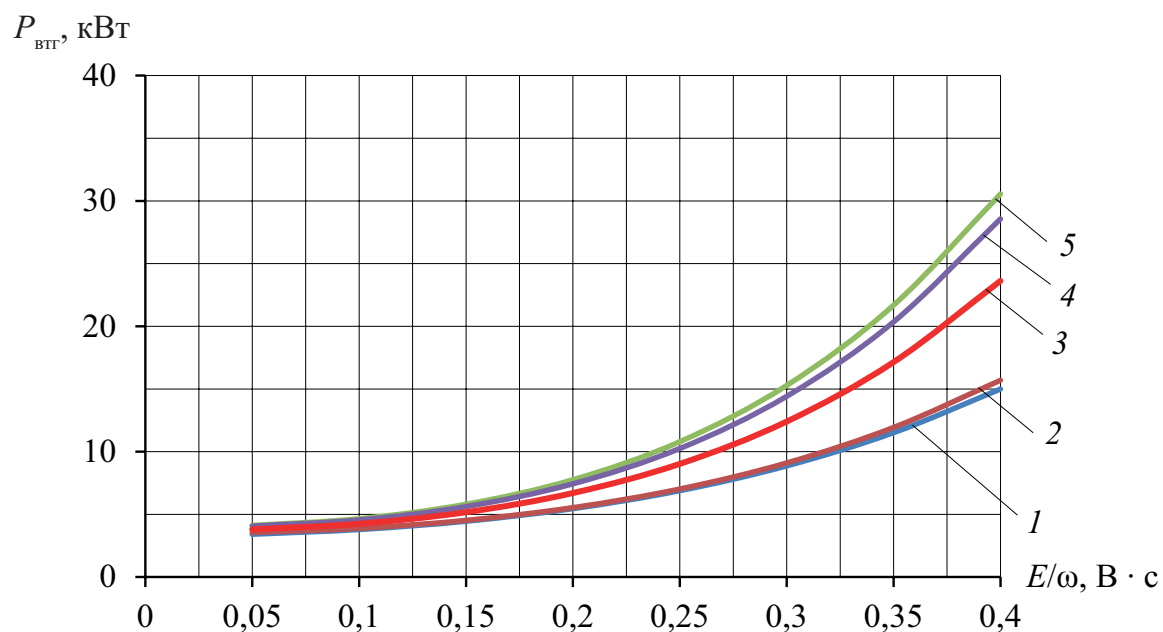


Рис. 6. Мощность, затрачиваемая на возбуждение тягового генератора при величине фазного тока генератора 1000А:
 1 — тепловоз № 078 секция А; 2 — тепловоз № 078 секция Б;
 3 — результаты расчета по коэффициентам графы «Среднее» табл. 1;
 4 — тепловоз № 154 секция А; тепловоз № 154 секция Б

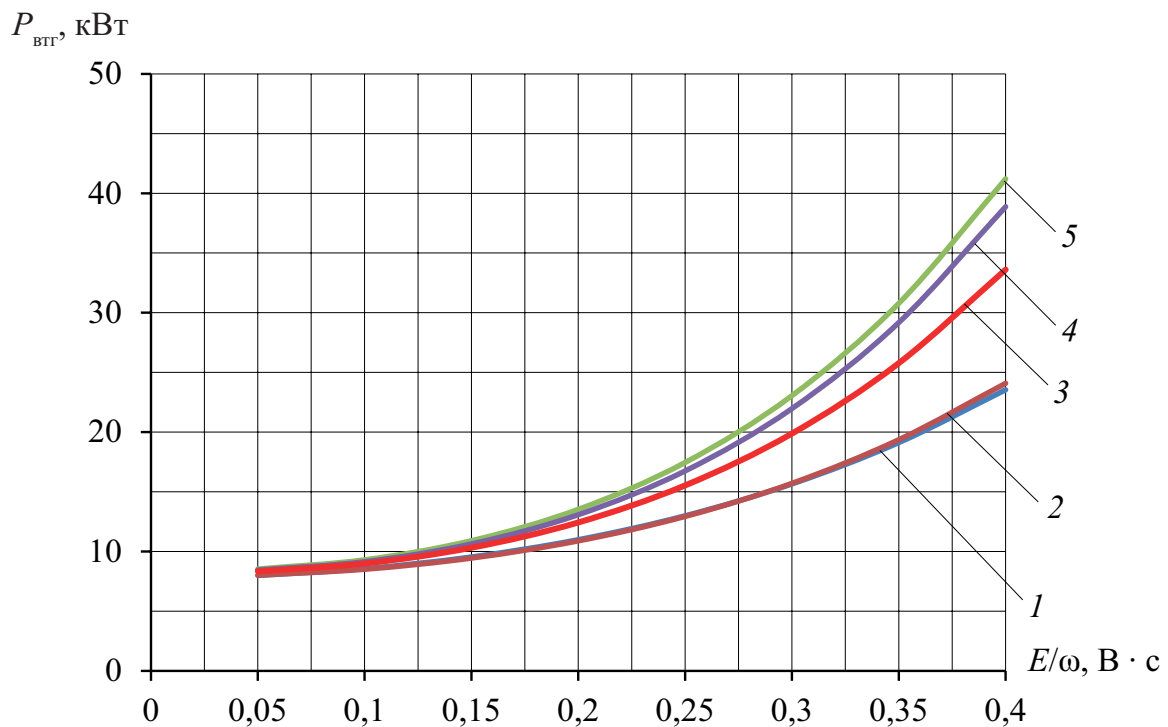


Рис. 7. Мощность, затрачиваемая на возбуждение тягового генератора при величине фазного тока генератора 1000А:
 1 — тепловоз № 078 секция А; 2 — тепловоз № 078 секция Б;
 3 — результаты расчета по коэффициентам графы «Среднее» табл. 1;
 4 — тепловоз № 154 секция А; тепловоз № 154 секция Б

Результаты определения мощности, затрачиваемой на возбуждение синхронного тягового генератора, приведены на рис. 5–7.

Определение затрат энергии на возбуждение синхронного возбудителя

Мощность, потребляемая цепью возбуждения синхронного возбудителя, может быть определена из выражения:

$$P_{\text{всв}} = \frac{U_{\text{бс}} \cdot I_{\text{всв}}}{\eta_{\text{стг}}}, \quad (8)$$

где $U_{\text{бс}}$ — напряжение бортовой сети, В;

$I_{\text{всв}}$ — ток в обмотке возбуждения синхронного возбудителя, А;

$\eta_{\text{стг}}$ — к. п. д. стартер-генератора.

Коэффициент полезного действия стартер-генератора в номинальном генераторном режиме работы составляет 0,92 [8]. Учитывая отличие эксплуатационных режимов его работы от номинального, можно принять значение $\eta_{\text{стг}}$ равным 0,85.

Напряжение бортовой сети поддерживается регулятором напряжения бортовой сети примерно постоянным (110 В), его величина контролируется подсистемой диагностики системы МСУ-ТП. Величина тока, протекающего через обмотку возбуждения возбудителя, определяется в основном величиной сопротивления возбуждения возбудителя и корректируется током возбуждения генератора посредством узла коррекции. Изменение тока возбуждения возбудителя $I_{\text{всв}}$ может быть аппроксимировано аналитической зависимостью вида:

$$I_{\text{всв}} = A \cdot I_{\text{втг}}^2 + B \cdot I_{\text{втг}} + C, \quad (9)$$

где A, B, C — постоянные коэффициенты.

Коэффициенты уравнения (9) для 14 секций тепловозов 2ТЭ116У, вычисленные с использованием МНК, приведены в табл. 2.

На рис. 8 показана зависимость тока возбуждения синхронного возбудителя от тока возбуждения тягового генератора для одной из секций.

Как следует из результатов, приведенных в табл. 2 и на рис. 8, для всех секций локомотивов коэффициент детерминации составляет не менее 0,97, а средняя ошибка аппроксимации не превышает 1,3 %, что свидетельствует об адекватности модели (10).

Результаты расчета мощности, затрачиваемой на возбуждение возбудителя для тепловозов 2ТЭ116У № 078(А), № 078(Б), № 154(А), № 154(Б) и для усредненных значений коэффициентов аппроксимации (графа «Среднее») приведены на рис. 9.

ТАБЛИЦА 2. Результаты расчета коэффициентов для определения тока возбуждения синхронного возбудителя

№ п/п	Локомотив (секция)	Коэффициенты уравнения			Статистические характеристики		
		A	B	C	n	R^2	\bar{A} , %
1	№ 078(А)	0,0000450	0,02716	9,482	26 069	0,964	0,94
2	№ 078(Б)	0,0001616	0,01441	8,727	25 011	0,986	0,91
3	№ 079(А)	0,0002254	0,00824	7,933	28 799	0,973	0,82
4	№ 080(А)	0,0002618	-0,00167	8,607	31 600	0,984	0,57
5	№ 082(Б)	0,0001332	0,01246	9,471	25 561	0,971	0,56
6	№ 107(А)	0,00018495	0,01983	7,805	14 975	0,973	1,28
7	№ 109(Б)	0,0001980	0,00879	8,137	30 904	0,972	1,00
8	№ 110(А)	0,0001679	0,01592	7,569	19 206	0,993	0,93
9	№ 124(Б)	0,0002503	0,00217	8,369	32 714	0,974	0,96
10	№ 135(А)	0,0001528	0,01593	8,233	21 818	0,995	0,563
11	№ 143(А)	0,0001613	0,01685	8,012	25 443	0,985	0,96
12	№ 143(Б)	0,0002029	0,01365	7,436	29 083	0,987	0,90
13	№ 154(А)	0,0001561	0,01910	8,100	29 886	0,989	1,05
14	№ 154(Б)	0,0001473	0,01896	8,187	23 894	0,985	1,22
	Среднее	0,000175	0,0137	8,291	—	—	—

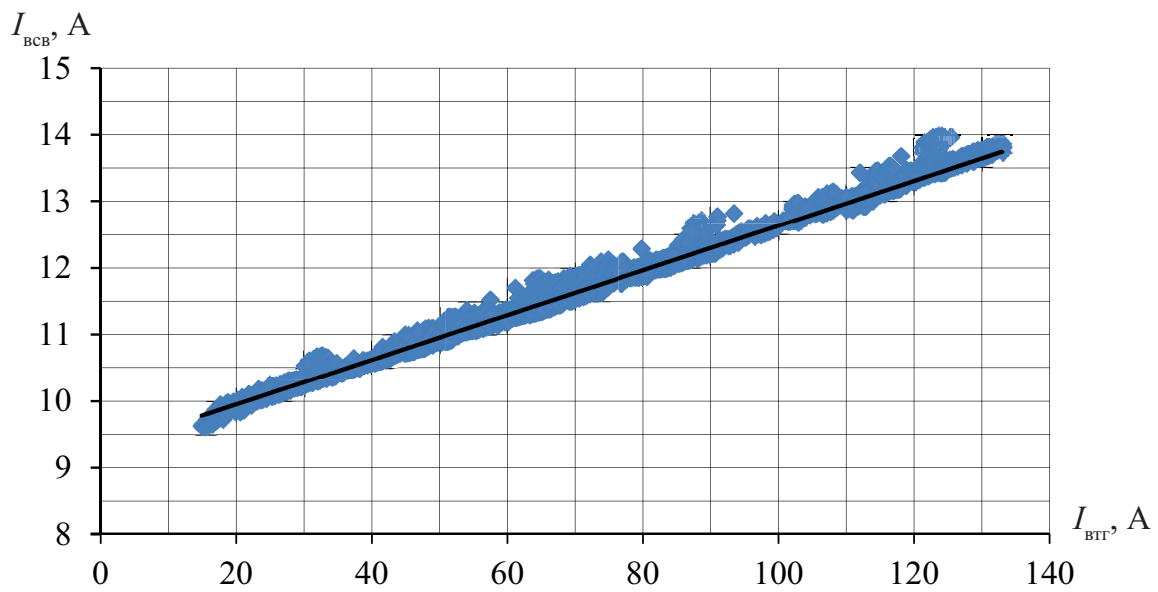


Рис. 8. Зависимость тока возбуждения синхронного возбудителя от тока возбуждения тягового генератора тепловоза 2ТЭ116У № 078 секция А

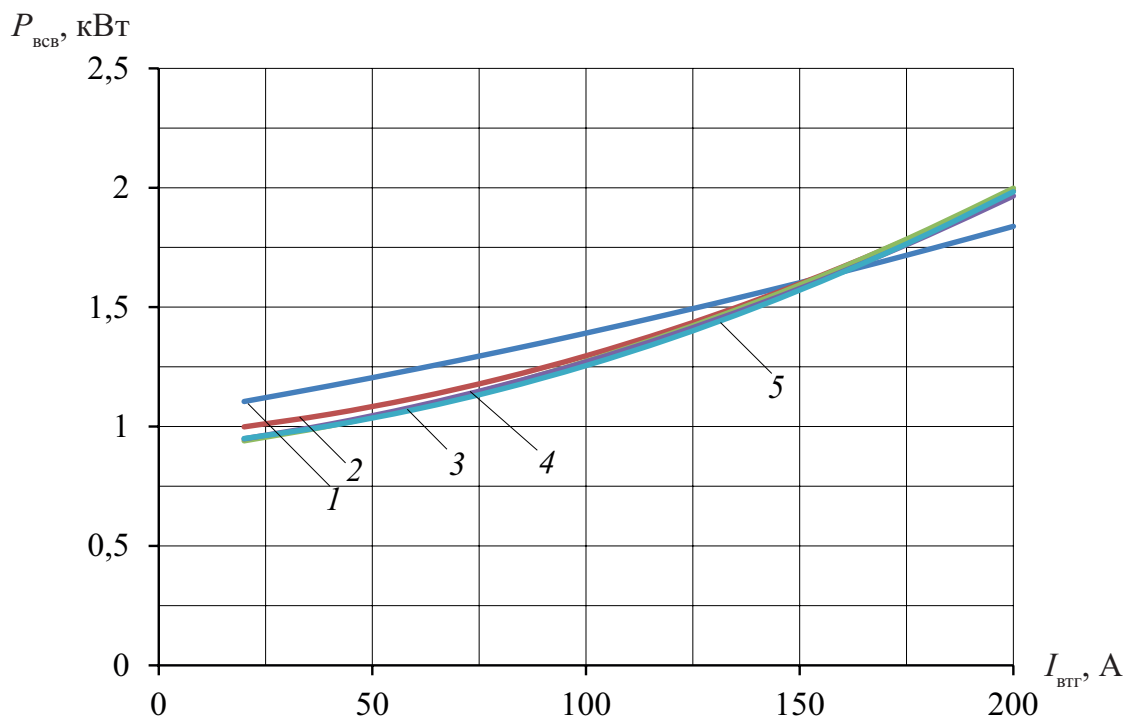


Рис. 9. Мощность, затрачиваемая на возбуждение синхронного возбудителя:
 1 — тепловоз № 078 секция А; 2 — тепловоз № 078 секция Б;
 3 — результаты расчета по коэффициентам графы «Среднее» табл.;
 4 — тепловоз № 154 секция А; тепловоз № 154 секция Б

Как следует из приведенных на рис. 9 результатов, мощность, затрачиваемая на возбуждение синхронного возбудителя, зависит от тока возбуждения генератора и составляет 0,9–2,0 кВт.

Выводы

1. Получены зависимости, позволяющие определять затраты энергии на возбуждение тягового генератора и синхронного возбудителя в зависимости от напряжения и тока на выходе выпрямительной установки и частоты вращения коленчатого вала дизеля.

2. Мощность, затрачиваемая на возбуждение синхронного тягового генератора, может достигать 40 кВт при разбросе по тепловозам до 100 %.

3. Мощность, затрачиваемая на возбуждение синхронного возбудителя, не превышает 2 кВт и определяется величиной тока обмотки возбуждения синхронного генератора, при этом разброс значений этой мощности у различных тепловозов не превышает 0,4кВт.

4. Полученные результаты позволяют повысить точность расчета тяговой характеристики локомотива за счет уточнения прогнозирования затрат энергии на вспомогательные нагрузки локомотива.

Библиографический список

1. Перминов В. А. Влияние технического состояния вспомогательного оборудования тепловозов на их энергоэффективность в эксплуатации / В. А. Перминов, В. В. Грачев, Д. Н. Курилкин, И. Э. Нестеров // Вестник научно-исследовательского и конструкторско-технологического института подвижного состава. — 2015. — № 97. — С. 45–58.

2. Клименко Ю. И. Влияние параметрических отказов оборудования тепловозов на его энергоэффективность в эксплуатации / Ю. И. Клименко, В. А. Перминов, В. В. Грачев, Д. Н. Курилкин, А. В. Фролов // Локомотив. — 2017. — № 4. — С. 40–45.

3. Перминов В. А. Оперативный контроль уровня энергоэффективности магистрального тепловоза рабочего парка / В. А. Перминов, М. В. Федотов, В. В. Грачев, И. Э. Нестеров // Вестник научно-исследовательского и конструкторско-технологического института подвижного состава. — 2015. — № 97. — С. 45–58.

4. Грачев В. В. Прескриптивный контроль энергоэффективности силовой установки тепловоза с использованием интеллектуальных методов обработки измерительной информации встроенных средств диагностики: монография / В. В. Грачев. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. — 106 с.

5. Система микропроцессорная управления, регулирования и диагностики. Руководство по эксплуатации 27.Т.156.00.00.000 РЭ/АО ВНИКТИ. — Коломна, 2007. — 111с.

6. Разработка показателей энергоэффективности тепловозов и методик их определения. Экспериментальные исследования по определению показателя энергоэффективности локомотивов (ПЭЛ) для оценки качества ремонта тепловозов (на примере тепловозов 2ТЭ116У, ТЭП70БС, ТЭМ18ДМ): техн. отчет № 27-2014-19, ОАО «ВНИКТИ»; рук. работы В. А. Перминов. — Коломна, 2014. — 175 с.

7. Марченко В. С. Электрооборудование тепловозов: справочник / В. С. Марченко, А. А. Сергеев, В. Т. Иванченко и др. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2003 — 248 с.

8. Грищенко А. В. Новые электрические машины локомотивов: учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / А. В. Грищенко, Е. В. Казаченко. — М.: ГОУ «Учебного методического центра по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 271 с.

9. Гаккель Е. Я. Электрические машины и электрооборудование тепловозов. учебник для вузов ж.-д. трансп. / Е. Я. Гаккель, К. И. Рудая, И. Ф. Пушкарев и др.; под. ред. Е. Я. Гаккель. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1981 — 256 с.

10. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. — М.: Наука, 1968 — 288 с.

11. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. — М.: Высш. шк., 2003 — 479 с.

Дата поступления: 15.01.2022

Решение о публикации: 08.02.2022

Контактная информация:

КУРИЛКИН Дмитрий Николаевич — канд. техн. наук, доц.; kurilkin_d@mail.ru

Definition of Energy Expenses on Traction Generator Excitation According to Data of Microprocessor Control Systems for Locomotive Traction Characteristic Prediction

D. N. Kurilkin

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Kurilkin D. N. Definition of Energy Expenses on Traction Generator Excitation According to Data of Microprocessor Control Systems for Locomotive Traction Characteristic Prediction. *Bulletin of scientific research results*, 2022, iss. 1, pp. 103–117. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-103-117

Summary

Purpose: Development and approbation of the methodology of definition of energy expenses on excitation of traction generator of diesel locomotive on the stage of locomotive traction characteristic prediction. While definition of diesel power spent on traction generator excitation during prediction of traction-energy characteristics of diesel locomotive it's necessary to consider current technical state of an exciter and traction synchronous generator. This task can be solved as a result of statistical analysis of information being registered by subsystem of board diagnostics of contemporary diesel locomotives. **Methods:** It's used in the work the methods of preprocessor handling of information volume and statistical analysis of formed sampling. **Results:** There have been obtained the dependences allowing to predict with high precision the expenses of power for traction generator excitation in various work modes of diesel locomotive on the basis of preliminary analysis of data of board diagnostics subsystem. The necessity of such analysis is preconditioned by large scatter of parameters of magnetic system of traction synchronous generators and, hence, power values spent on their excitation which reaches 100% for generators 2ТЭ116У at 40 kW power. **Practical significance:** The obtained results help to rise definition accuracy of traction-energy properties for particular locomotive.

Keywords: Energy effectiveness, excitation of traction generator, energy expenses on generator excitation, auxiliary loads.

References

1. Perminov V. A. Vliyanie tekhnicheskogo sostoyaniya vspomogatel'nogo oborudovaniya teplovozov na ikh energoeffektivnost' v ekspluatatsii [Influence of the technical condition of the auxiliary equipment of diesel locomotives on their energy efficiency in operation]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo i konstruktorsko-tekhnologicheskogo instituta podvizhnogo sostava* [Bulletin of the Research and Design Institute of Rolling Stock]. 2015, I. 97, pp. 45–58.
2. Klimenko Yu. I. Vliyanie parametricheskikh otkazov oborudovaniya teplovozov na ego energoeffektivnost' v ekspluatatsii [Influence of parametric failures of diesel locomotive equipment on its energy efficiency in operation]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 2017, I. 4, pp. 40–45.
3. Perminov V. A. Operativnyy kontrol' urovnya energoeffektivnosti magistral'nogo teplovoza rabocheho parka [Operational control of the level of energy efficiency of the main diesel locomotive of the working fleet]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo i konstruktorsko-tekhnologicheskogo instituta podvizhnogo sostava* [Bulletin of the Research and Design Institute of Rolling Stock]. 2015, I. 97, pp. 45–58.

4. Grachev V. V. *Preskriptivnyy kontrol' energoeffektivnosti silovoy ustanovki teplovoza s ispol'zovaniem intellektual'nykh metodov obrabotki izmeritel'noy informatsii vstroennykh sredstv diagnostiki* [Prescriptive control of the energy efficiency of a diesel locomotive power plant using intelligent methods for processing measurement information of built-in diagnostic tools]. St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS Publ., 2019. 106 p.

5. *Sistema mikroprotsessornaya upravleniya, regulirovaniya i diagnostiki. Rukovodstvo po ekspluatatsii 27.T.156.00.00.000 RE/AO VNIKTI* [Microprocessor control, regulation and diagnostics system. Operation manual 27.T.156.00.00.000 RE/JSC VNIKTI]. Kolomna, 2007. 111 p.

6. *Razrabotka pokazateley energoeffektivnosti teplovozov i metodik ikh opredeleniya. Eksperimental'nye issledovaniya po opredeleniyu pokazatelya energoeffektivnosti lokomotivov (PEL) dlya otsenki kachestva remonta teplovozov (na primere teplovozov 2TE116U, TEP70BS, TEM18DM): tekhn. otchet №27-2014-19, OAO "VNIKTI"* [Development of indicators of energy efficiency of diesel locomotives and methods for their determination. Experimental studies to determine the energy efficiency index of locomotives (PEL) to assess the quality of repair of diesel locomotives (on the example of diesel locomotives 2TE116U, TEP70BS, TEM18DM)]. Kolomna, 2014, 175 p.

7. Marchenko V. S. *Elektrooborudovanie teplovozov* [Electrical equipment of diesel locomotives]. Moscow: IKTs "Akademkniga" Publ., 2003. 248 p.

8. Grishchenko A. V., Kazachenko E. V. *Novye elektricheskie mashiny lokomotivov* [New Electric Machines of Locomotives]. Moscow: GOU "Uchebnogo metodicheskoy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte" Publ., 2008. 271 p.

9. Gakkel' E. Ya. *Elektricheskie mashiny i elektrooborudovanie teplovozov* [Electrical machines and electrical equipment of diesel locomotives]. Moscow: Transport Publ., 1981. 256 p.

10. Pustyl'nik E. I. *Statisticheskie metody analiza i obrabotki nablyudeniy* [Statistical methods of analysis and processing of observations]. Moscow: Nauka Publ., 1968. 288 p.

11. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: Uchebnoe posobie dlya VUZov* [Probability Theory and Mathematical Statistics]. Moscow: Vyssh. shk. Publ., 2003. 479 p.

Received: January 15, 2022

Accepted: February 8, 2022

Author's information:

Dmitry N. KURILKIN — PhD in Engineering, Associate Professor; kurilkin_d@mail.ru