

ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТРОПОЕЗД «НЕВА». ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

В. А. Мнацканов, генеральный директор ООО «ТОМАК, ЛТД», член-корр. Российской инженерной академии, к. т. н., kamotltd@gmail.com



Тяговый привод с коллекторными двигателями постоянного тока обладает оптимальными для метрополитена тяговыми характеристиками. Он обеспечивает интенсивный разгон метропоездов до 60 км/ч (при максимальной скорости в эксплуатации 90 км/ч). Считалось, что асинхронный тяговый привод (АТП) может только повторить эти характеристики с той или иной степенью эффективности. Общеизвестно, что коэффициент полезного действия АТП, включающего, наряду с асинхронными двигателями (АД), автономный инвертор и массивные сглаживающие дроссели, примерно на 5 % ниже, чем у привода с коллекторными двигателями, поскольку потери мощности на коллекторе на порядок меньше, чем в инверторах и сглаживающих дросселях.

И все-таки АТП появился на вагонах метро. И оказалось, что здесь он не менее востребован и эффективен, чем на скоростных электропоездах. Причем востребован в силу частых пусков и торможений, которые на вагонах метро следуют друг за другом 10–15 ч в сутки. Именно в этих режимах коллекторные двигатели и контакторная аппаратура вагонов сильно перегружаются, искрят, теряют надежность и выходят из строя. И именно здесь весьма ощутимы преимущества АТП не только ввиду повышения надежности тяги, но и в силу улучшения тяговых и тормозных свойств вагонов в зоне высоких скоростей движения (60–90 км/ч).

Метропоезд «НеВа» с АТП был спроектирован и построен в 2011 г. по заказу Петербургского метрополитена. Его по праву мож-

но назвать инновационным. На нем внедрены самые современные и эффективные конструкторские и технологические решения в области тягового электропривода и механической части вагонов, разработанные фирмой «Шкода транспортная техника» и ЗАО «ВАГОНМАШ» при участии ОАО «НИИ вагоностроения» и ООО «ТОМАК, ЛТД». Благодаря этим новациям удалось в 6-вагонном составе выполнить 2 вагона безмоторными, не потеряв ни в ускорениях при разгоне, ни в замедлениях при торможении. За счет снятия с двух прицепных вагонов тягового электрооборудования масса 6-вагонного состава «НеВа» сократилась более чем на 10 т. Новые конструкции и технологии, примененные при устройстве механической части вагонов, позволили сократить массу каждого вагона еще на 5 т. В результате, сокращение массы 6-вагонного состава «НеВа» по сравнению с 6-вагонным составом из серийных вагонов мод. 81-717/714 составило около 40 т. А по сравнению с метропоездом «Яуза» масса «НеВа» сократилась более чем на 60 т. Иначе говоря, метропоезд «НеВа» при заполнении 150 пасс./вагон (50 % максимальной загрузки) имеет такую же массу, как порожний метропоезд «Яуза». Это – беспрецедентное сокращение массы метропоезда как по своим масштабам, так и по своему значению для энергоэффективности метрополитена как транспортной технологии.

Согласно статистике, более 90 % времени работы на линии в вагоне метрополитена находится менее 130 пассажиров. Это значит, что 90 % времени работы на линии гру-

женный метропоезд «НеВа» будет потреблять электроэнергии меньше, чем порожний метропоезд «Яуза», а метропоезд «Яуза» даже порожний будет потреблять электроэнергии больше, чем нагруженный на 50 % метропоезд «НеВа».

Тягово-энергетические испытания «НеВа» проводились в два этапа. На первом этапе – с тяговыми токами 5400 А/состав (на перспективу), характерными для будущих, модернизированных и усиленных по мощности тяговых сетей Петербургского метрополитена, а на втором – с уменьшенными на 25 % токами, соответствующими мощности современных систем энергоснабжения. Испытания первого метропоезда «НеВа» проводились в 2011 г. на Невско-Василеостровской линии Петербургского метрополитена, а опыты по аварийному въезду «НеВа» с максимальной загрузкой вагонов на подъём 60 % – на перегоне «Черная речка» – «Пионерская» Московско-Петроградской линии. Перспективные метропоезда должны безопасно работать на линиях традиционного метрополитена с уклонами до 60 %, а также на перспективных линиях мобильного метрополитена с уклонами до 100 % (в соответствии с ГОСТ трамвайные вагоны работают на уклонах 90–120 %).

Первый этап тягово-энергетических испытаний «НеВа» проводился по Программе, разработанной ОАО «НИИ вагоностроения» и согласованной с Петербургским метрополитеном. Специалисты ООО «ТОМАК, ЛТД», как разработчики алгоритмов тяги и торможения, участвовали в пуско-наладочных и

технологических обкатках метропоезда «НеВа», обеспечивали научно-техническое сопровождение его приемочных испытаний.

Следует отметить, что разработанные для «НеВы» алгоритмы тяги-торможения позволили не только сохранить ускорения и замедления максимально загруженного (8 ч/м²) метропоезда «НеВа» (с 66 % моторных осей) на уровне 1,3 м/с², характерном для метропоездов со 100 % моторных осей, но и повысить динамику разгона и торможения «НеВы» по сравнению со всеми эксплуатируемыми сегодня в России и в странах СНГ метропоездами. Иначе говоря, из АТП, установленного на моторных вагонах «НеВы», были «выжаты» все его преимущества по реализуемой мощности тяги и сцеплению колеса с рельсом.

На рис. 1 представлены кривые разгона метропоездов «НеВа», «Русич», «Яуза» с АД и вагонов мод. 81-717/714 с коллекторными двигателями.

Как видно, в зоне скоростей 60–80 км/ч метропоезда «НеВа» и «Яуза» с АТП разгоняются гораздо интенсивнее, чем метропоезд мод. 81-717/714 с коллекторными двигателями, а «Русич» заметно отстает от них уже с 20 км/ч.

В табл. 1 приведены результаты испытаний по разгону метропоездов мод. 81-717, 81-720А («Яуза», 81-760) и 81-556/558 («НеВа») при загрузке вагонов 8 ч/м² и метропоезда мод. 81-740А/741А («Русич») при загрузке вагонов 6,6 ч/м².

Важной особенностью метрополитена является ограниченная мощность его тяговых сетей. Эта особенность была учтена при проектировании тяги метропоезда «НеВа». Несмотря на меньшее энергопотребление из сети, метропоезд «НеВа» (с 66 % моторных осей) по показателям разгона до стандартных скоростей 30, 60 и 80 км/ч превосходит метропоезд «Яуза» (со 100 % моторных осей) на 3–15 %, а метропоезд «Русич» (с 66 % моторных осей) на 25–27 % (см. рис. 1). Максимальное ускорение загруженного метропоезда «НеВа» при разгоне составило 1,35 м/с²; у метропоездов «Яуза» (мод. 81-720А) – 1,27 м/с², а у метропоезда «Русич» – 0,92 м/с². Это показывает, что при проектировании тягового привода метропоезда «Русич» не были использованы эффективные алгоритмы тяги. В эксплуатации низкое ускорение метропоезда при разгоне приводит к необходимости двойного подключения тяги даже при работе на перегонах средней длины. Это вызывает перерасход электроэнергии на тягу и затрудняет работу машиниста в режимах нагона опозданий. Кроме того, более длительный уход метропоезда из зоны станции сокращает провозную способность линий метрополитена, которая ограничена именно пропускной способностью станции.

Существенные преимущества «НеВы» над всеми другими отечественными метропоездами с АТП вызваны не только тем, что средняя масса тары её вагона меньше, чем у метропоездов «Яуза» (81-720А, 81-760), а удель-

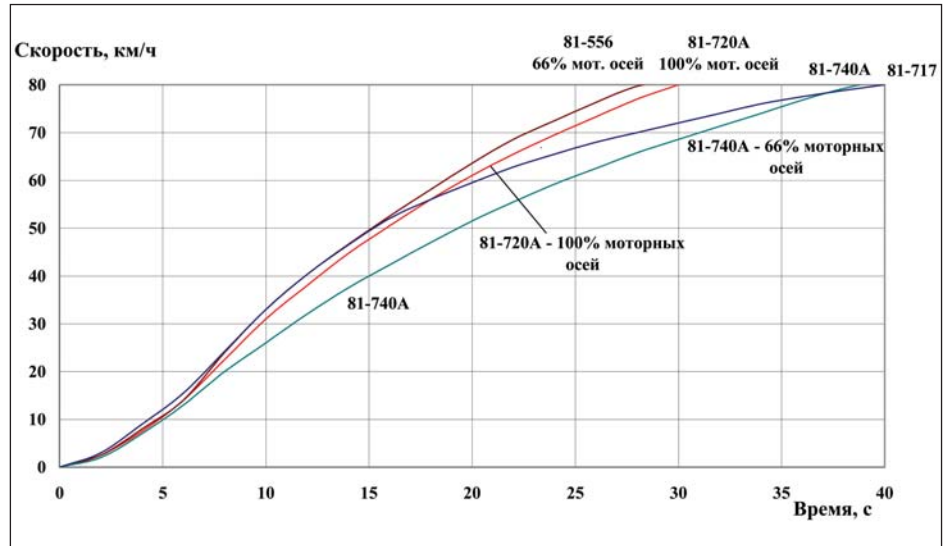


Рис. 1. Кривые разгона вагонов мод. 81-717 с колл. двигателями и вагонов с АД 81-556 (НеВа), 81-720А (Яуза) при 8 ч/м² и 81-740А (Русич) при 6,6 ч/м²

Таблица 1

Результаты испытаний по разгону метропоездов

Скорость разгона, км/ч	Время разгона, с			
	81-серия 81-717/714	«Яуза» 81-720А/760	«Русич» 81-740А	«НеВа» 81-556
30	8,5	9,5	11	8
60	21	19,5	24	18
80	40	30	39	29

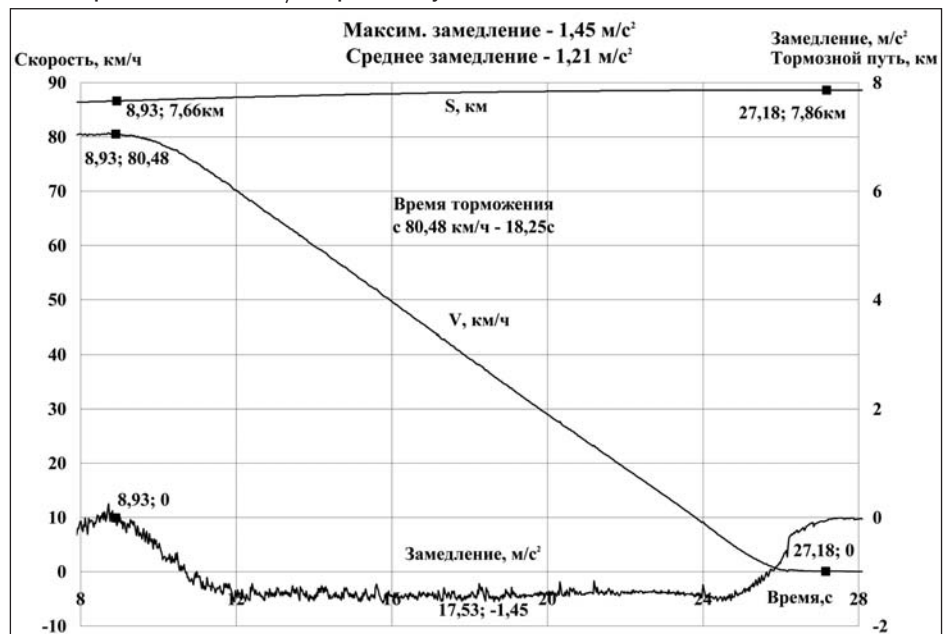
Примечание. Испытания: 81-717 – 1977 г., «Яуза» – 1999 г., «Русич» – 2003 г., «НеВа» – 2011 г. Энергопотребление из сети: 81-717 – 5200А, «НеВа» – 5400А, «Яуза» – 6000А.

ный показатель (масса тары/на 1 м длины вагона) на 22 % меньше, чем у «Русича». Но также и тем, что АТП моторных вагонов метропоезда «НеВа» впервые спроектированы для работы в «электровозном» режиме. В условиях ограниченной мощности тяговых сетей метрополитена они эффективно тянут не только себя, но и безмоторные прицеп-

ные вагоны. Поэтому «НеВа» (из 4-х моторных и 2-х безмоторных вагонов) разгоняется быстрее, чем «Яуза» со всеми моторными вагонами (см. рис. 1). При этом «НеВа» потребляет из сети меньшую мощность и расходует меньше энергии, чем «Яуза» и «Русич».

На рис. 2 представлена диаграмма служебного (реостатного) торможения «НеВы» со

Рис. 2. Торможение с 80,48 км/ч. Тормозной путь – 200 м



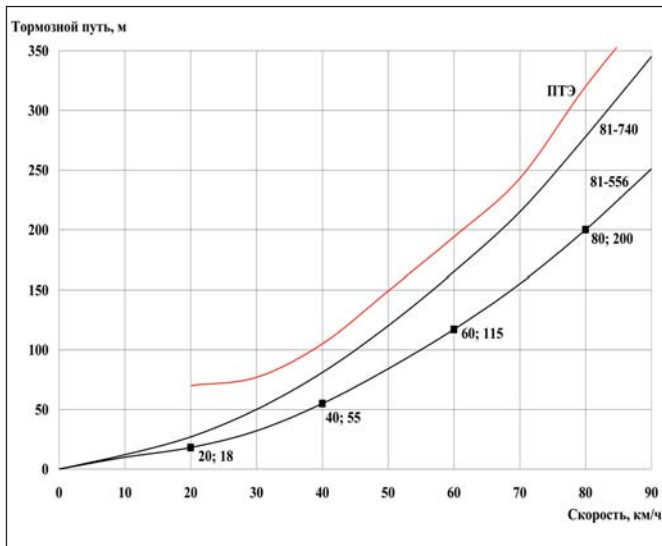


Рис. 3. Тормозные пути поездов метрополитена по испытаниям Русич (81-740), НеВа (81-556), ПТЭ

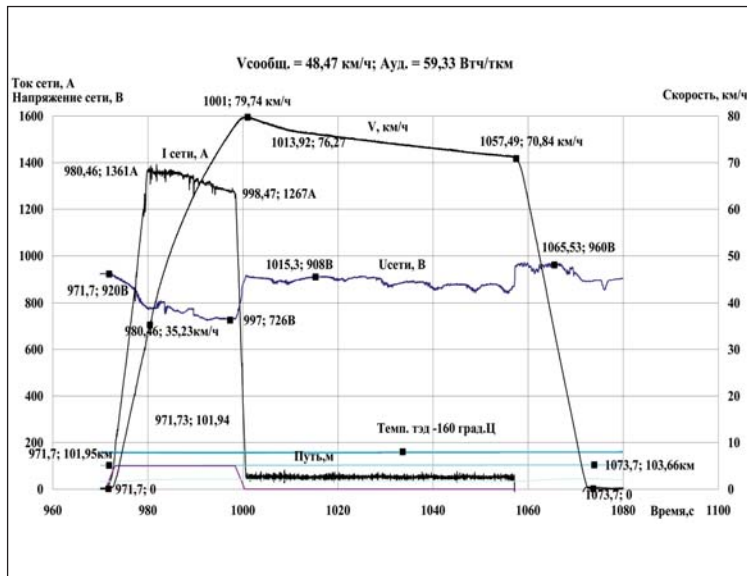


Рис. 4. Удельный расход электроэнергии на тягу

Таблица 2

Показатели тягово-энергетической эффективности и конкурентоспособности метропоездов «НеВа» с АТФ фирмы «Шкода» и «Яуза» с АТФ фирмы «Альстом»

Показатель	«Русич» мод. 81-740А/741А	«Яуза» мод. 81-720А/760	«НеВа» мод. 81-556/558	Преимущ. «НеВа» над «Яузой», %
Конструктивные показатели				
Масса тары метропоезда, т	193*	223	159	29 (64т)
Масса тары на 1 м длины, т/м	1,71	1,89	1,35	22
Средняя масса вагона, т	48,2*	37,2	26,5	29 (10,7т)
Вместимость поезда при 8 ч/м ² , пасс.	1176	1594	1594	–
Масса поезда с пасс. (при 8 ч/м ²), т	275,2**	334,6	270	20 (64т)
Масса тары на 1-го пассажира, кг	164	140	100	29
Процент моторных осей в поезде, %	67	100	67	33
Удельная пусковая мощность, кВт/т	8,1	10	11,3	13
Тягово-энергетические показатели				
Максим. ускорение до 30 км/ч, м/с ²	0,92	1,27	1,35	6
Темп нараст. ускорения, не более, м/с ³	0,6	0,6	0,6	–
Разгон до скорости, с:				
30 км/ч	11	9,5	8	15
60	24	19,5	18	8
80	39	30	29	3
Макс. энергопотребление из сети, А	4000	6000	5400	10
Максимальное замедление, м/с ²	1,1	1,3	1,4	7,7
Темп нараст. замедления, не более, м/с ³	1,2	1,0	1,0	–
Тормозной путь при служебном электрич. торможении со скорости, м:				
20 км/ч, не более	33	25	18	28
40	85	65	55	15
60	175	150	117	22
80	300	260	200	23
90	380	330	250	24
Скорость сообщ. на перегоне 1700 м, км/ч	42	48	48	–
Уд. расход электроэнергии на тягу при скор. сообщ. 48 км/ч на 1700 м, Втч/ткм	41***	59	58	2
Расход энергии на тягу макс. загруж. метропоезда при пробеге 600 км со скоростью сообщ. 48 км/ч, тыс. кВтч	6,77***	11,84	9,4	20

Примечание.
*длина вагона – 28,15 м, состава – 112,6 м;
**при 6,6 ч/м²;
***при 42 км/ч

скорости 80 км/ч, а на рис. 3 – зависимость тормозного пути при служебном торможении от скорости его начала.

Очевиден большой проигрыш у «Русича» по сравнению с «НеВой» в тормозных путях при служебном реостатном торможении.

Тягово-энергетическим испытаниям по определению удельного расхода электроэнергии на тягу подвергался максимально нагруженный (из расчета 8 ч/м²) шестивагонный метропоезд «НеВа». Перед началом испытаний для получения корректных результатов тяговое электрооборудование метропоезда «НеВа» было подвергнуто интенсивному нагреву в цикле 30 пусков и торможений в час. При температуре в тоннеле 23 °С температура обмоток статора асинхронных тяговых двигателей в наиболее нагретой точке (в зоне задних лобовых частей обмотки) составляла 159–164 °С, а температура IGBT транзисторов инвертора – 40–44 °С.

Время разгона метропоезда «НеВа» до скорости 80 км/ч на перегоне «Рыбацкое» – «Обухово» (2-й путь, подъем 3‰) составило, в среднем, 29,5 с; на перегоне «Обухово» – «Рыбацкое» (1-й путь, спуск 3‰) – 28,4 с при средних потребляемых токах в расчете на 1 вагон около 1350 А.

Осциллограммы на рис. 4 относятся к режиму работы метропоезда «НеВа» на участке длиной 1700 м со скоростью сообщения 48,47 км/ч. В этом режиме движения удельный расход электроэнергии на тягу составил – 59,33 Втч/ткм (при электродинамическом торможении и среднем напряжении в контактной сети 750 В). При движении метропоезда со скоростью сообщения 48 км/ч в указанных условиях удельный расход электроэнергии на тягу составит около 58 Втч/ткм.

Обработка всех снятых во время испытаний осциллограмм показала, что при стандартном цикле движения метропоезда «НеВа» по перегону 1700 м со скоростью сообщения 48 км/ч (остановка 25 с) с применением в качестве служебного электродинамического (реостатного) торможения удельный расход электроэнергии на тягу зависит от среднего за цикл «тяги» напряжения в контактной сети и от профиля пу-

ти и изменяется в пределах 58–61 Втч/ткм (по ТЗ на «НеВу» должно быть не более 62 Втч/ткм).

В табл. 2 представлены показатели тягово-энергетической эффективности и конкурентоспособности метропоездов «НеВа» с АТП фирмы «Шкода» и «Яуза» с АТП фирмы «Альстом».

Выводы:

- у «НеВы» масса тары меньше, чем у «Яузы», на 64 т (на 29 %);
- разгон «НеВы» (4М+2П) эффективнее, чем у «Яузы» (6М) на 5 %, тормозные пути меньше на 15–28 %;
- расход электроэнергии на тягу у «НеВы» меньше, чем у «Яузы» на 20 %.

Проигрыш «Русича» и «Яузы» по расходу электроэнергии на тягу по сравнению с инновационным метропоездом «НеВа» состоит не только в вышеуказанных процентах, выявленных в результате тягово-энергетических испытаний. В эксплуатации экономия электроэнергии у «НеВы» по сравнению с «Яузой» и «Русичем» составит около 30 %. Это обусловлено тем, что алгоритмы тяги-торможения «НеВы» разработаны на инновационной основе, с учетом того, что работа метропоезда осуществляется в условиях ограниченной мощности тяговых сетей и что при пуске АД отсутствуют реостатные потери. Алгоритмы тяги метропоездов «Яуза» и «Русич» практически повторяют алгоритмы работы вагонов мод. 81-717 с реостатным пуском тяговых двигателей. В результате недополучена экономия миллиардов киловатт-часов электроэнергии. Той электроэнергии, которая в эксплуатации могла бы компенсировать удорожание вагонов с АТП, поскольку стоимость электроэнергии, потребляемой вагоном метро за срок эксплуатации, примерно равна стоимости самого вагона.

Согласно Актам проверки, составленным по результатам испытаний, проведенных 20 и 30 ноября 2011 г. на подъеме 60 ‰ перегона «Черная речка» – «Пионерская», метропоезд «НеВа» при максимальной загрузке вагонов (8 ч/м²) после остановки на подъеме тронулся и въехал на него при одном и при двух отключенных моторных вагонах. Причем, даже при двух отключенных моторных вагонах состав двигался с увеличением скорости, которая в конце подъема составила 22 км/ч. Это особо отмечено в Акте от 20 ноября 2011 г.

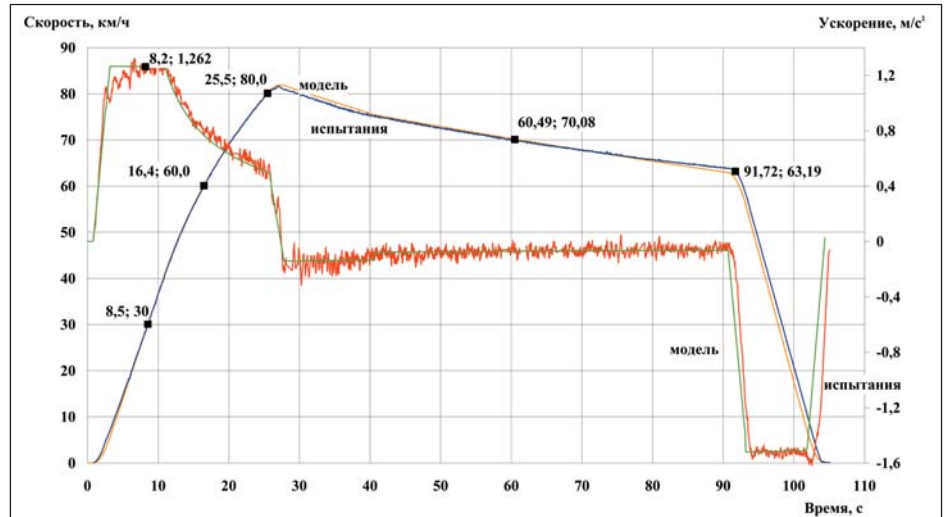


Рис. 5. Кривые движения порожнего состава по испытаниям и по модели, $V_c = 48$ км/ч перегон 1700 м; стоянка 25с; $a_{уд.} = 68,5$ Втч/ткм; $I_{эф} = 132,5$ А

Для надежной работы на линиях мобильного метрополитена с уклонами и подъемами до 100 ‰ метропоезд «НеВа» должен быть выполнен в варианте со всеми моторными вагонами. В этом случае максимально нагруженный метропоезд «НеВа» даже при аварийном отключении тяги на одном из моторных вагонов сможет самостоятельно тронуться на подъеме 100 ‰ и въехать на него по пути 100–200 м с ускорением 0,69 м/с² менее чем за 30 с. Это достаточно высокое ускорение, оно превышает то ускорение, с которым на «площадке» разгоняются пригородные электропоезда. Поэтому работа метропоезда «НеВа» на подъемах 100 ‰ будет безопасной.

На втором этапе испытаний метропоезда «НеВа», в 2013 г., мощность, потребляемая им из контактной сети, была ограничена величиной 3000 кВт (ток контактной сети 4000 А; 1000 А/моторный вагон). В результате модернизаций, проведенных по требованию заказчика, масса «НеВы» возросла на 3 т, в основном за счет роста массы прицепных вагонов.

На рис. 5 представлена экспериментально снятая диаграмма работы порожнего метропоезда «НеВа» на перегоне 1700 м со скоростью сообщения 48 км/ч (остановка 25 с) с ограничением тока сети величиной 4000 А, а также расчетная диаграмма (модель) работы порожнего

состава «НеВа», составленная с учетом всех особенностей движения, включая реальный профиль пути, напряжение сети, с учетом реальной кривой потребляемого из сети тока и реальных величин основного и дополнительного (от уклонов и подъемов) сопротивления движению.

Интегрированием кривой потребляемого из контактной сети тока было установлено, что абсолютный расход электроэнергии на тягу 6-вагонной «НеВы» составил 18,398 кВтч (удельный расход 66,27 Втч/ткм). Для смоделированной кривой движения «НеВы» при аналогичных условиях, включая профиль пути и потребляемую мощность, был получен абсолютный расход электроэнергии на тягу в размере 19,025 кВтч (удельный расход 68,53 Втч/ткм). Разница между измеренным и расчетным значениями составила 3,4 %. Такими же, достаточно высокими по точности совпадениями, оказались (по испытаниям и по модели) скорости начала выбега, скорости начала торможения и эффективные (греющие) токи тяговых двигателей.

На рис. 6 представлены кривые движения метропоезда «НеВа» в порожнем и груженом режимах при токе сети 4000 А в каждом режиме.

В табл. 3 представлены параметры и характеристики работы метропоезда «НеВа» на перегоне 1700 м со скоростью сообще-

Таблица 3

Параметры и характеристики работы метропоезда «НеВа» и результаты испытаний АД в стандартном режиме S1

	t_{80} , с	$V_{в}$, км/ч	$V_{нт}$, км/ч	A, кВтч	$a_{уд.}$, Втч/ткм	V_c , км/ч	$n_{ср}$, об/мин	$I_{эф}$, А	$P_{дл}$, кВт	τ , °С
Испытания порожнего	25,5	80,56	63,91	18,398	66,27	48	1800	131,4	100	120
Модель порожнего	25,5	80,9	62,9	19,025	68,53	48	1800	132,5	101	121
Модель груженого 8 ч/м ² , 4000А	39,2	81	67,4	32,695	69,6	48	1800	187	143	170
Испытания груженого 8 ч/м ² , 5400А	29	79,74	70,84	27,333	59,33	48	1800	180	137	164
Испытания тягового двигателя, режим S1							2072	233	167	183

Примечание. t_{80} – время разгона метропоезда до 80 км/ч; $V_{в}$ – скорость начала выбега, км/ч; $V_{нт}$ – скорость начала торможения, км/ч; A – абсолютный расход электроэнергии на тягу, кВтч; $a_{уд.}$ – удельный расход электроэнергии на тягу, Втч/ткм; V_c – скорость сообщения на перегоне 1700 м, км/ч; $n_{ср}$ – среднее число оборотов тягового двигателя за цикл движения, об/мин; $I_{эф}$ – эффективный (среднеквадратичный) греющий ток, А; $P_{дл}$ – длительная мощность тягового двигателя в испытательном режиме, кВт; τ – максимальная температура обмотки статора тягового двигателя, °С.

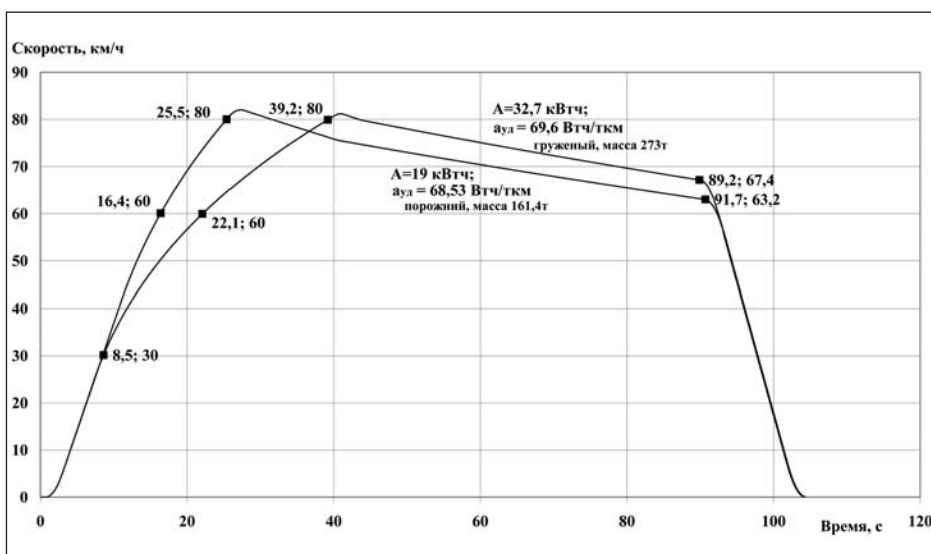
Таблица 4

Тягово-энергетические показатели метропоезда «НеВа»

Показатели	Порожний режим	Груженный режим (8 ч/м ²)
Масса метропоезда, т	161,4	273
Статическая нагрузка брутто от колесной пары на рельсы, т	7,35	11,95
Максимальный коэффициент тяги	0,196	0,197
Максим. коэфф. тормозного усилия	0,233	0,235
Коэффициент сцепной массы*	0,729	0,7
Максимальное ускорение м /с ²	1,26	1,26
Максимальное замедление м /с ²	1,5	1,5
Времена разгона до скоростей, с:		
30 км/ч	8,5	8,6
60	16,4	22,1
80	25,5	39,2
Тормозной путь на площадке со скоростей, не более, м:		
60 км/ч	113	115
80	195	200
90	240	250
Максимальный ток сети, А	4000	4000
Максимальный ток моторного вагона, А	1000	1000
Абсолютн. расход электроэнергии на тягу при скор. сообщ. 48 км/ч на 1700 м, кВтч	18,4	32,7
Уд. расход электроэнергии на тягу при скорости сообщ. 48 км/ч на 1700 м, Втч/ткм	66,3	69,6
Эффективный ток тягового двигателя, А	131,4	187
Максим. температура обмоток статора при темпер. в тоннеле 23 °С, не более, °С	120	170

Примечание.

*отношение массы состава на моторных осях к его полной массе.

Рис. 6. Сравнение работы метропоезда «НеВа» в порожнем и груженом режимах скорость сообщения 48 км/ч, ток сети 4000 А, ускорение 1,26 м/с²

ния 48 км/ч в порожнем и груженом режиме (8 ч/м²) при токах сети 4000 А и 5400 А, а также результаты испытаний АД в стандартном режиме S1.

Из анализа данных, представленных на рис. 6 и в табл. 3, следует, что при росте массы метропоезда «НеВа» на 69 % (от порожнего состава до максимально загруженного состава) абсолютный расход электроэнергии на тягу возрастает на 72 %. Удельный расход электроэнергии на тягу метропоезда «НеВа» (в диапазоне от порожнего до максимально загруженного состава) возрастает на 1,5 %.

Тягово-энергетические показатели метропоезда «НеВа» с АТП составности Г-П-П-П-П-Г из вагонов модели 81-556/557/558 при работе на стандартном перегоне 1700 м со

скоростью сообщения 48 км/ч при 25 с остановках представлены в табл. 4.

По результатам тягово-энергетических и тепловых испытаний порожнего состава и их пересчета на груженный режим работы (с нагрузкой 8 ч/м²) можно сделать следующие выводы.

Метропоезд «НеВа» составности Г+П+П+П+П+Г с нагрузкой 8 ч/м² при максимальном токе сети 4000 А (мощность 3000 кВт):

- удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 50850-96 (п. 4.1) по времени разгона до скорости 80 км/ч: «Время разгона до скорости 80 км/ч, не более 40 с»;
- обеспечивает максимальное ускорение 1,26 м/с² и удовлетворяет требованиям государственного контракта по максимальному

ускорению на горизонтальном участке пути – «не менее 1,2 м/с²»;

- удовлетворяет требованиям государственного контракта по максимальному замедлению и тормозным путям;
- при работе на перегоне 1700 м со скоростью сообщения 48 км/ч (остановка 25 с) удельный расход электроэнергии на тягу метропоезда составит 69,6 Втч/ткм;
- при работе на перегоне 1700 м со скоростью сообщения 48 км/ч (остановка 25 с) эффективный ток АД составит 187А, что эквивалентно тепломощности двигателя 143 кВт (длительная мощность асинхронного двигателя 167 кВт);
- максимальная температура обмоток асинхронных тяговых двигателей в режиме работы метропоезда «НеВа» со скоростью сообщения 48 км/ч на перегоне 1700 м составит, не более:

в порожнем режиме – 120 °С (при температуре в тоннеле 23°С),

в груженом режиме – 170 °С (при температуре в тоннеле 23°С),

в груженом режиме – 187 °С (при окружающей темп. 40 °С, по ГОСТ) и будет соответствовать изоляции класса 200.

Вывод: в порожнем и груженом режимах работы метропоезд «НеВа» при максимальном токе сети 4000 А (для существующего энергоснабжения) и при токе сети 5400 А (на перспективу, для модернизированной системы энергоснабжения) удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 50850-96, ГОСТ 2582 и государственного контракта по безопасности эксплуатации, максимальным ускорениям, замедлениям и нагреву тягового электрооборудования. В настоящий момент «НеВа» – самый энергоэффективный и конкурентоспособный отечественный метропоезд нового поколения.