

# ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОАККУМУЛЯТОРНЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Рассмотрены проблемы создания экономичного и экологически чистого пароаккумуляторного локомотива для промышленного железнодорожного транспорта. В сравнении с тепловозами этот локомотив позволяет отказаться от дизельных двигателей, снизить затраты на ремонт и обслуживание. Данный локомотив можно использовать в запыленных и загрязненных условиях без снижения ресурса и на предприятиях, требующих взрывозащиты и пожарной безопасности.

*Ключевые слова:* паровой аккумуляторный локомотив, промышленный транспорт, конструкция, тяговые и теплотехнические характеристики



**В.Н. Балабин**



**А.Ю. Сербулов**

В последнее время на многих дискуссионных площадках, включая Международный салон железнодорожной техники и технологий «ЭКСПО 1520» в Щербинке, Международную конференцию «Рынок транспортных услуг: взаимодействие и партнерство», Форум «Транспорт России» активно обсуждались проблемы промышленного транспорта, осуществляющего перевозки, превышающие в 2,5 раза, перевозки, осуществляемые ОАО «РЖД».

## Общие характеристики перспективного локомотива

Перед локомотивным хозяйством промышленных предприятий стоят такие ключевые задачи, как обеспечение перевозочного процесса необходимым количеством исправной техники с минимальными эксплуатационными затратами. Сегодня нужны маневровые

локомотивы простой конструкции и повышенным ресурсом, соответствующие экологическим требованиям (поскольку большинство предприятий находятся в черте населенных пунктов), пригодные для использования в кривых малого радиуса, способные работать с переменными скоростями и нагрузками.

Рынок предлагает маневровые тепловозы большой, средней и малой мощности еще советских времен. Единичные опытные машины ощутимого результата не дают и в серию не поступают.

С целью снижения расходов на маневровую работу на подъездных путях необщего пользования (нефтеперерабатывающие заводы, заводы химической промышленности, металлургические, горно-обогатительные и деревообрабатывающие комбинаты, тепловые электростанции и т.д.), разработана версия пароаккумуляторного локомотива (ПАЛ) с силой тяги в 90 кН (9 тс).

**Балабин Валентин Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: новые локомотивы, альтернативные двигатели, безопасность эксплуатации. Автор 60 научных работ.

**Сербулов Алексей Юрьевич**, главный конструктор фирмы ООО «Белспецлесмаш». Область научных интересов: энергобаланс промышленных предприятий, промышленный транспорт, эффективность транспортных цехов.

Данная машина не нуждается в топливе, а использует технологический пар, получаемый от стационарных котлов предприятий и аккумулируемый в резервуаре высокого давления с теплоизоляцией.

ПАЛ-9П создан на базе распространенной ранее модели танк-паровоза 9П. Без изменений использованы экипажная часть и паровая машина. Котел с топкой заменены котлом-паронакопителем, представляющим собой закрытый цилиндрический резервуар с высокой степенью термоизоляции.

Общий вид локомотива ПАЛ-9П представлен на рис. 1.

Вариант тендерного локомотива ПАЛт-9П с удвоенным запасом рабочего пара показан на рис. 2.

Для бестопочных паровозов почти не требуется обслуживание и ремонт котла, а локомотив обслуживается одним машинистом.

Основным недостатком бестопочных паровозов являлся ограниченный радиус действия.

### Конструкционные особенности

#### Рама

На локомотиве применена продольно-сварная листовая коробчатая рама, внутренний объем служит для размещения элементов подвески. Масса основных элементов: рама — 6,5 т, ведущая колесная пара

— 2,74 т, цилиндр — 1,065 т, движущий механизм — 1 т, будка, площадка, изоляция, автосцепки — 2 т.

#### Экипаж

Колеса стальные бандажированные, колесные центры с противовесами, буксы со сферическими роликоподшипниками FAG 23952.MB. Применены нерегулируемые рессоры с параметрами: длина — 1000 мм, сечение — 100×13 мм, число листов — 12, четыре верхних листа одной длины. Использовано трехточечное подвешивание (один поперечный баланси́р и два продольных), рессоры над буксами, прогиб рессор под рабочей нагрузкой — 39,5 мм. Масса рессоры — 100,1 кг, количество — 6 шт.

#### Тормоза

Ручной рычажный (передаточное число 1107) и однокамерный воздушный тормоз, усилие нажатия на колодку 4370 кг при давлении 3,8 кгс/см<sup>2</sup>. Рычажная передача цилиндр — колодка (1,725:1)×(2,34×1). Цилиндр тормозной 503 Б — 2 шт. (диаметр поршня 330 мм). Габаритные размеры не более: 398×384×402 мм. Масса не более 75 кг, максимальный ход поршня 150 мм.

#### Котел-аккумулятор

Цилиндрическая обечайка с двумя приваренными штампованными днищами. Длина аккумулятора — 7100 мм, внутренний диаметр — 2000 мм, толщина

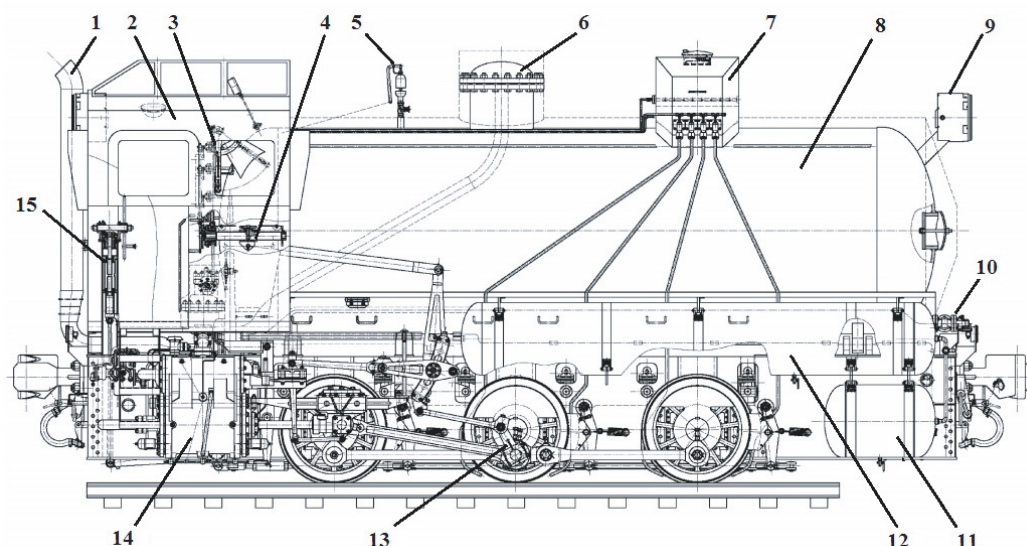


Рис. 1. Общий вид локомотива ПАЛ-9П: 1 — паровыпускная труба; 2 — будка; 3 — регулятор; 4 — привод реверса; 5 — паровой свисток; 6 — сухопарник; 7 — песочница; 8 — котел-пароаккумулятор; 9 — прожектор; 10 — экипажировочный патрубок; 11 — запасной резервуар; 12 — главный резервуар; 13 — движущий механизм; 14 — паровой цилиндр; 15 — ручной тормоз

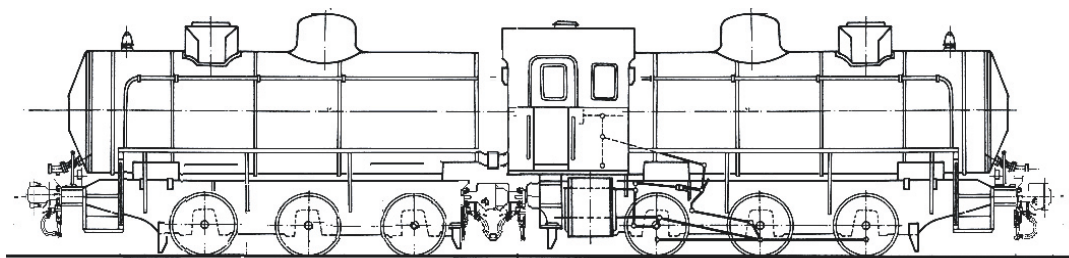


Рис. 2. Вариант тендерного локомотива ПАПт-9П

### Технические характеристики

Локомотив соответствует типу 5 ГОСТ 22339-88 габарита 1-ВМ, 02-ВМ по ГОСТ 9238-2013.

|                                                                                |        |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Колея, мм                                                                      | 1524   |
| Объем котла, м <sup>3</sup>                                                    | 21,0   |
| Объем воды, м <sup>3</sup>                                                     | 18,5   |
| Масса без воды, т                                                              | 38 т   |
| Давление пара, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )                                      | 2 (20) |
| Масса в рабочем состоянии, т                                                   | 56,5   |
| Сила тяги рабочая, кН                                                          | 90     |
| Сила тяги при трогании с места, кН                                             | 125    |
| Сила тяги минимальная, кН                                                      | 83     |
| Максимальная скорость, км/ч                                                    | 30     |
| Максимальная масса состава на прямой при скорости 15 км/ч и силе тяги 83 кН, т | 3200   |
| Максимальная масса состава на прямой при скорости 30 км/ч и силе тяги 83 кН, т | 3000   |
| Длина по осям автосцепок, мм                                                   | 9820   |
| Расстояние между осями колесных пар, мм                                        | 1800   |
| Общая база, мм                                                                 | 3600   |
| Диаметр колес, мм                                                              | 1050   |
| Минимальный радиус кривой, м                                                   | 40     |

стенки — 20 мм, материал — Ст. 10Г2С1. Полная масса — 9,36 т. Объем — 21 м<sup>3</sup>. Изоляция выполнена из стекловолна. Парозарядная труба Ду 50, соединение с парозарядной колонкой — по DIN 11851.

#### Дополнительное оборудование

Главный резервуар вместимостью 4300 л, запасной резервуар вместимостью 38 л, паровой свисток, маслосос, подвагонный электрогенератор ЭГВ.01.2У1 50В, 10 кВт (зарядное напряжение при скорости выше 9 км/ч), электроразъем, аккумулятор 50 В, 400 А·ч, электродвигатель ПНЖ — 132 110 В 10 кВт (50 В, 2,5 кВт) — 2 шт, компрессор: давление 8 кгс/см<sup>2</sup>, производительность 340 л/мин — 2 шт, паровой эжектор, обратный клапан и главная задвижка.

#### Органы управления

Водоуказательные стекла, манометр давления пара в котле (до 20 кгс/см<sup>2</sup>), регулятор подачи пара в цилиндры, рукоятка и привод продувочных клапанов цилиндров, КМ-усл.№294, КВТ-4вк (или усл.№ 254), привод регулятора, реверс с приводом, штурвал стояночного тормоза, скоростемер.

#### Рабочий процесс применения пара

Держать пар, как рабочее тело, в емкости под высоким давлением неэффективно, так как при тех давлениях, при которых функционирует котел, пар будет занимать много места. Целесообразно использовать метод раздельного хранения пара и воды при темпе-

ратуре насыщения. В этом случае в воде аккумулируется энергия, которая при необходимости расходуется на частичное превращение воды в пар. Это явление именуется мгновенным вскипанием, или испарением воды.

Перед работой котел-резервуар на 60–80 % заполняют горячей водой, а потом через отдельный экипировочный патрубок подают пар в котел давлением 2 МПа (20 кгс/см<sup>2</sup>) из стационарной котельной установки. Конденсируясь, пар нагревает воду. Процесс завершится, когда вода достигнет температуры насыщенного пара, а давление в пароаккумуляторе достигнет давления заряжающего пара. Если теперь из пароаккумулятора отобрать часть пара (из сухопарника с помощью пароразрядной трубы) в паровую машину, то давление в пароаккумуляторе упадет, вода окажется перегретой, закипит и отдаст следующую порцию пара (до выравнивания давления в пароаккумуляторе с давлением насыщения при данной температуре воды). Т.е., по мере снижения давления с 20 кгс/см<sup>2</sup> до минимального рабочего вода в котле за счет скрытой теплоты парообразования превращается в пар в течение 6–12 ч в зависимости от нагрузки и режимов эксплуатации.

Для работы локомотива необходимы парозарядные колонки, паропроводы, питательные насосы и арматура в количестве, определяемом проектом для конкретных эксплуатационных условиях.

На полную зарядку котла затрачивается 20–30 мин, а на подготовку холодного локомотива — 1,2–1,3 ч.

### Тягово-теплотехнические особенности эксплуатации

Исходя из объема воды в пароаккумуляторе 18,5 м<sup>3</sup>, зарядного давления 2 МПа (20 кгс/см<sup>2</sup>), минимального разрядного давления 0,3 МПа (3 кгс/см<sup>2</sup>), по диаграмме НУТТЕ имеем пароемкость 120 кг пара на 1 м<sup>3</sup> воды. Общее количество отдаваемого на работу пара составит 120×18,5=2220 кг. Исходя из данных расхода пара пароаккумуляторными локомотивами 0,37 кг/т·км получим выполненную работу на одной парозарядке 2220/0,37=6000 т·км.

Следует отметить такую особенность пароаккумуляторного локомотива, как отсутствие ограничения по котлу, т.е. отсутствие гиперболической ветви тяговой характеристики (сила тяги не падает с увеличением скорости). К примеру, у традиционного паровоза ограничение по котлу наступает при скорости от 15 до 25 км/ч, у тепловозов — от 5 до 25 км/ч).

### Расчет количества локомотивов ПАЛ-9П для предприятия

Расчет выполняем из условия осуществления необходимой маневровой работы. В качестве единого энер-

гоносителя по транспортно-энергетическому узлу (ТЭУ) принимается пар. Локомотивы ПАЛ-9П заряжаются паром давлением до 20 кгс/см<sup>2</sup> и осуществляют маневровую работу до падения давления в пароаккумуляторе до 3–4 кгс/см<sup>2</sup>. После зарядки цикл повторяется. Расчетное время работы машины на одной зарядке — 12 ч. Время зарядки — 15–20 мин из горячего состояния. Принимая зарядное давление машины в 16 кгс/см<sup>2</sup>, имеем теплосодержание 1 кг насыщенного пара 668,1 кал. Полезно истраченный на маневровую работу в сутки объем пара  $V_z$  составит:

$$V_z = \frac{Q_z}{668,1} = \frac{2\,400\,000}{668,1} = 3592,3 \text{ кг,}$$

где  $Q_z = 2400000$  кал — истраченное тепло при реальном суточном КПД маневровой работы в 10%.

Так как КПД локомотива ПАЛ-9П составляет 12% (с учетом использования пара котлов предприятия), то полный суточный расход пара на машины составит:

$$V_{\text{сут}} = \frac{V_z}{0,12} = \frac{3592,3}{0,12} = 29936 \text{ кг.}$$

Один локомотив потребляет в сутки (при двух зарядках) 5000 кг пара. Тогда необходимое для совершения маневровой работы количество машин составит:

$$Z = \frac{V_{\text{сут}}}{5000} = \frac{29936}{5000} = 6 \text{ шт.}$$

При расходе пара 0,37 кг/т·км маневровой работы общая суточная маневровая работа составит:

$$N_{\text{сут}} = \frac{V_{\text{сут}}}{0,37} = \frac{29936}{0,37} = 80\,908.$$

### Технико-экономические сравнения

Максимальная выгода пароаккумуляторного локомотива там, где присутствуют необходимые в производстве «тепловые отбросы», т.е. тепло, которое можно превратить в пар или технологически готовый пар. Кроме этого, несомненна выгода от его применения там, где производится продукт с низкой добавленной стоимостью и каждый сэкономленный рубль здесь играет значительную роль в себестоимости. Следует также упомянуть предприятия, где сам продукт является источником энергии и который можно применить для движения локомотива, что принесет дополнительную прибыль предприятию. Это, в первую очередь, коксохимическое и металлургическое производство, нефтеперегонные заводы, где стоимость продажи сэкономленного дизельного топлива сразу даст экономический эффект. Также необходимо учитывать полную пожаробезопасность локомотива, что важно для нефтехимических и газодобывающих предприятий.

Промышленные локомотивы обычно работают только около 10–30% рабочего времени. Современный паровой аккумулятор с хорошей изоляцией может сохранять давление в течение многих часов, что значительно снижает эксплуатационные расходы по сравнению с тепловозами, дизель которых работает на холостом ходу.

Пароаккумуляторные локомотивы полностью безопасны в эксплуатации, взрыв котла полностью исключен, так как, если заканчивается достаточное количество пара и воды, он просто перестает двигаться, хотя изначально необходимо соблюдать все меры предосторожности, как и с любым другим сосудом высокого давления и теплоносителем высоких параметров — температуры и давления. Однако эти локомотивы могут обслуживаться менее квалифицированным персоналом, не требующим полной квалификации машиниста паровоза.

С целью проверки принятых конструкторских решений была изготовлена модель локомотива (полностью по прочерченным деталям) в масштабе 1:10. Завершена разработка конструкторской документации.

Проведенные сравнительные оценки локомотивов ПАЛ-9П и ТЭМ2 выявили реальную экономию по дизельному топливу в среднем 0,75–1,0 т/сут на

один тепловоз. По тяговым свойствам ПАЛ-9П эквивалентен тепловозам ТГМ23, ТГМ40, ТГМ4. Только за счет экономии дизельного топлива срок окупаемости ПАЛ-9П составляет 12–15 мес. Срок эксплуатации машины составляет 50–60 лет. «Жизненный цикл» ПАЛ-9П в семь раз дешевле «жизненного цикла» тепловоза ТГМ4 и в двенадцать раз тепловоза ЧМЭЗ.

### Выводы

В результате применения ПАЛ-9П возможно достижение следующих положительных результатов:

1. В сравнении с тепловозами, работающими на дизельном топливе, ПАЛ-9П позволяет сэкономить дизельное топливо в количестве 0,75–1,0 т/сут на одну машину.
2. Снижение затрат на ремонт составляет на 90% по сравнению с тепловозом.
3. Снижение затрат на обслуживающий персонал (машина обслуживается одним машинистом без помощника).
4. Возможность использования в запыленных и загрязненных условиях без снижения ресурса.
5. Возможность использования на предприятиях, на которых требуется взрыво- и пожаробезопасность;
6. Экологичность (выхлоп — только водяной пар).

## Литература

1. ТР ТС 001 / 2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (с изменениями на 9 декабря 2011 года) / Комиссия Таможенного союза, Москва, 2011. — Текст: непосредственный.
2. Проблемы энергетики в промышленности // Сборник статей под ред. проф. В.В. Дмитриева. — Государственное издательство РСФСР. — Москва. — Ленинград, 1927. — 172 с. — Текст: непосредственный.
3. Гартман, Э. Паровоз без топки / Э. Гартман. — Текст: непосредственный // Техника — молодежи. — 1940. — № 10. — С. 65.
4. Раков, В.А. Локомотивы отечественных железных дорог, 1845-1955 / В.А. Раков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Транспорт, 1995. — С. 522–523. — Текст: непосредственный.
5. Röhl, Freiherr von: Enzyklopädie des Eisenbahnwesens, Band 5. Berlin, Wien 1914.
6. Virtual Stockbook-Glossary. Fireless Locomotives.
7. Karl Pokschewinski: Feuerlose Lokomotiven. Geschichte, Funktion und Einsatz der Dampfspeicherloks, Lokrundschau-Verlag, 2000.
8. Сайт. — URL: <https://integral-russia.ru/2018/04/11/18578/> (дата обращения: 01.03.2022). — Текст: электронный.
9. Сайт. — URL: [https://pikabu.ru/story/bestopochnyiy\\_parovoz\\_5866967](https://pikabu.ru/story/bestopochnyiy_parovoz_5866967) (дата обращения: 01.03.2022). — Текст: электронный.
10. Сайт. — URL: [https://wiki2.org/ru/%D0%91%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BF-%D0%BE%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B7](https://wiki2.org/ru/%D0%91%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BF-%D0%BE%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B7) (дата обращения 01.03.2022). — Текст: электронный.