

С. Н. Григорьев

БЕСТОПОЧНЫЕ ПАРОВОЗЫ

Т Р А Н С Ж Е Л Д О Р И З Д А Т • 1 9 5 6

С. Н. ГРИГОРЬЕВ

Доктор техн. наук

БЕСТОПОЧНЫЕ ПАРОВОЗЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва 1956

В брошюре описано устройство и использование бестопочных паровозов, применяемых на внутризаводском транспорте огнеопасных и взрывоопасных предприятий и складов. Особое внимание уделено первому советскому бестопочному паровозу, предназначенному для серийной постройки.

Брошюра рассчитана на инженеров и техников, связанных с использованием и обслуживанием паровозов, а также может быть использована паровозными бригадами.

Редактор инж. Л. Я. ДАЧУК

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ И ПРИНЦИПЕ ДЕЙСТВИЯ БЕСТОПОЧНЫХ ПАРОВОЗОВ

Многие предприятия железнодорожного транспорта и особенно промышленности (лесные и нефтяные склады, нефтеперерабатывающие и химические предприятия, деревообделочные и бумажные фабрики и т. п.) остро нуждаются в локомотивах, полностью безопасных в пожарном отношении.

Обычный паровоз, как известно, этому требованию не удовлетворяет. Чтобы вывезти готовую продукцию из огнеопасного цеха или подать в него порожние вагоны, необходимо между паровозом и вагонами или цистернами ставить для прикрытия порожние вагоны или платформы. Это увеличивает транспортные расходы и создаёт большие неудобства в эксплуатационном отношении. Если же на территории предприятия во многих пунктах хранится большое количество огнеопасных материалов или выделяются в атмосферу воспламеняющиеся газы, то работа паровоза и с прикрытием не допускается.

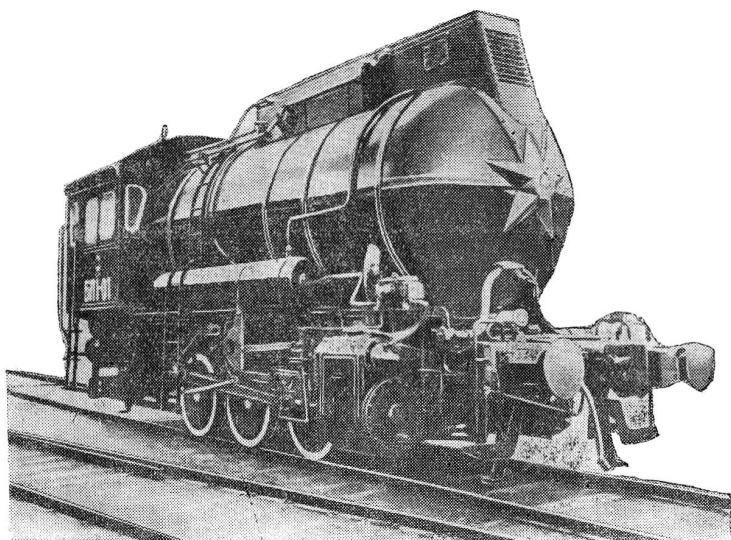
Электровоз, получающий энергию от контактной сети, не менее опасен, чем обычный паровоз. Аккумуляторные электровозы отличаются высокой стоимостью, требуют большой затраты времени на зарядку и также не могут считаться вполне безопасными. Тепловозы и мотовозы имеют высокие температуры отработавших газов и при неисправности дают искрение при выхлопе, т. е. мало отличаются по взрыво- и пожароопасности от паровозов, особенно при электрическом зажигании и работе на бензине.

Единственным видом локомотива, вполне пригодным для работы на территории и внутри цехов взрывоопасных предприятий, является бестопочный паровоз.

Бестопочный паровоз, общий вид которого представлен на фиг. 1, является локомотивом, у которого обычный топочный паровой котёл заменён котлом-аккумулятором. Этот котёл представляет собой большой резервуар, наполненный до некоторого уровня горячей водой с температурой кипения, соответствующей внутреннему давлению в котле. При открытии выпускного клапана пар из парового пространства аккумулятора расходуется на работу паровой машины. Давление и температура в котле-аккумуляторе при этом постепенно понижаются. Понижение давления освобождает из котловой воды излишнюю теплоту, которая создаёт интенсивное парообразование и циркуляцию кипящей воды. Образующийся пар

заполняет паровое пространство котла-аккумулятора и при открытом выпускном клапане поступает в паровые цилиндры. Так процесс разрядки продолжается до конечного давления 1—2 ат.

Пар из котла-аккумулятора поступает в сухопарник и водоотделитель, где происходит отделение частиц воды, в результате чего, как показывают многочисленные опыты, на выходе из котла пар получается сухим или с влажностью не свыше 4%. Выходящий из котла-аккумулятора пар в условиях падения температуры при разрядке получает избыточное тепло от стенок парового простран-



Фиг. 1. Внешний вид бестопочного паровоза типа БП¹ постройки Муромского завода

ства, благодаря чему подсушивается, а в котлах высокого давления с более толстыми стенками даже может получить и небольшой перегрев.

Уровень воды в котле-аккумуляторе при зарядке обычно доводят до 75—80% общего объема. Слишком высокий начальный уровень воды хотя и выгоден в смысле увеличения количества аккумулированной энергии, но приводит к образованию влажного пара из-за малого парового пространства. Более низкий начальный уровень воды в котле-аккумуляторе вызывает уменьшение запаса тепловой энергии.

Паровые цилиндры бестопочного паровоза отличаются от цилиндров обычного паровоза иногда только большим диаметром. Диаметр цилиндров увеличивают для того, чтобы получить достаточную силу тяги и при пониженном давлении в котле-аккумуляторе.

Цилиндры иногда располагаются под будкой машиниста для того, чтобы обеспечить одинаковую нагрузку на колёсные пары, так как для размещения будки котёл-аккумулятор приходится сдвигать вперёд на раме.

При понижении давления в котле-аккумуляторе до минимального (1—1,5 ат) возникает необходимость в зарядке его паром, для чего паровоз направляется к зарядному устройству, соединённому со стационарной котельной установкой. Впускаемый в нижнюю часть котла-аккумулятора пар конденсируется в воде, увеличивая её температуру и давление до тех пор, пока (в пределах допустимого значения) давление не станет почти равным давлению заряжающего пара. Для зарядки может применяться как насыщенный, так и перегретый пар.

Время работы бестопочного паровоза между зарядками колеблется в среднем от 2 до 8 час.

Продолжительность зарядки зависит от ряда факторов: объёма котла-аккумулятора, паропроизводительности заряжающего стационарного котла и давления в нём, от диаметра и длины заряжающего трубопровода и т. д.

Зарядка холодного бестопочного паровоза продолжается от 25 мин. до 1 часа. При наличии в котле-аккумуляторе некоторого избыточного давления процесс зарядки занимает 10—40 мин. Зарядку часто приурочивают к перерывам, когда происходит смена основных рабочих производства, так как в это время уменьшается нагрузка парокотельной установки.

Котёл-аккумулятор заряжается паром посредством горизонтальной трубы, проложенной в нижней части котла вдоль всей его длины. На этой трубе сделаны небольшие отверстия, число которых по мере удаления от питательного вентиля увеличивается. Сечение трубы должно быть достаточным для равномерного подвода пара ко всем выходным отверстиям.

При впуске пара в котёл-аккумулятор в нём происходит интенсивная циркуляция воды, обеспечивающая равномерное распределение тепла по всему водяному объёму. Потеря давления, возникающая за счёт величины слоя воды над зарядной трубой, очень мала и для оценки температуры кипения практически не имеет значения.

Для предупреждения коррозии со стороны выходящих пузырьков пара между зарядной трубой и стенкой котла-аккумулятора ставится защитный лист металла.

В процессе зарядки уровень воды в котле-аккумуляторе возрастает за счёт сконденсированного пара, а при разрядке — снижается, причём в случае применения для зарядки насыщенного пара начальный уровень воды перед зарядкой обычно каждый раз повышается. При длительном простое заряженного котла количество пара, получаемое при разрядке, несколько снижается за счёт внешнего охлаждения, а уровень воды после разрядки повышается против обычного. Излишнее количество воды из котла-аккумулятора

после нескольких зарядок удаляется через спускной кран, что является известной потерей.

В случаях зарядки котла-аккумулятора высокоперегретым паром при разрядке получается больше насыщенного пара за счёт большого количества тепла, содержащегося в перегретом паре, поэтому уровень воды в аккумуляторе будет уменьшаться от зарядки к зарядке. В этом случае, помимо пара, при зарядке возникает необходимость добавлять в котёл-аккумулятор и воду, что сложно и неудобно в эксплуатации.

При зарядке холодных бестопочных паровозов перегретым паром возникают чрезмерные термические напряжения металла котла, что является опасным в отношении его повреждения.

Зарядка тем же паром от начального давления в котле-аккумуляторе (1—2 *ат*) уже не опасна.

Для бестопочных паровозов очень большое значение имеет хорошая теплоизоляция, так как, помимо уменьшения мощности и экономичности, потеря на внешнее охлаждение в бестопочных паровозах вызывает и сокращение периода работы между зарядками. Обычно падение давления от охлаждения достигает 0,25—0,5 *ат* в час, поэтому в периоды простоя бестопочные паровозы целесообразно ставить в закрытые помещения.

Накипь со стенок котла-аккумулятора не удаляется, так как её накопление уменьшает внешнюю теплоотдачу.

Общий вес бестопочного паровоза по мере разрядки несколько уменьшается, но так как одновременно значительно быстрее снижается возможная сила тяги за счёт падения давления, то боксование бестопочных паровозов происходит весьма редко, что важно для взрывоопасных предприятий. Общий вес двухосного бестопочного паровоза можно принимать в среднем 30—35 *т*, а трёхосного — 45—60 *т*. Известны случаи постройки за рубежом и пятиосных бестопочных паровозов.

Ёмкость котлов-аккумуляторов трёхосных бестопочных паровозов доходит до 22 *м³*, рабочее давление обычно принимают 12—20 *ат*, а иногда и до 120 *ат*.

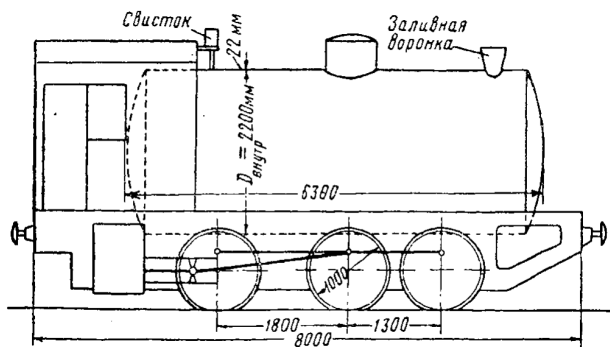
Бестопочные паровозы могут давать достаточную для маневровой работы силу тяги вплоть до давления в котле 2—3 *ат*, а двигаться без вагонов и при котловом давлении 0,5—1 *ат*.

Эксплуатация бестопочных паровозов обходится значительно дешевле, чем паровозов обычного типа, в особенности на предприятиях, имеющих мощное паросиловое хозяйство, тем более, что за последние годы наблюдается стремление к значительному повышению максимального давления зарядки котлов-аккумуляторов.

Управление бестопочным паровозом весьма просто и может быть поручено одному лицу. Бестопочные паровозы исключительно надёжны в эксплуатации и отличаются минимальным объёмом и стоимостью производимого ремонта. На одном предприятии в СССР с 1928 г. непрерывно работает бестопочный паровоз,

который до сих пор не прошёл ни капитального, ни среднего ремонта. За весь период эксплуатации этого паровоза в 1939 г. были сменены поршневые и золотниковые кольца, вкладыши ползунов, перезалиты дышловые подшипники; в 1948 г. произведена подъёмка с обточкой бандажей, сменены поршневые и золотниковые кольца и дышловые подшипники; в 1950 г. была поставлена новая теплоизоляция взамен обветшавшей, расточены цилиндры втулки и сменены бандажи. Все эти ремонтные работы выполнены средствами паровозного депо.

На фиг. 2 показана схема этого паровоза. Максимальное давление в котле-аккумуляторе 18 ат. Диаметр цилиндров 550 мм, ход поршня 550 мм, поршни без контрштоков, диаметр колёс 1 000 мм. Парораспределение — Вальсхарта с цилиндрическими



Фиг. 2. Схема бестопочного паровоза с максимальным давлением пара 18 ат

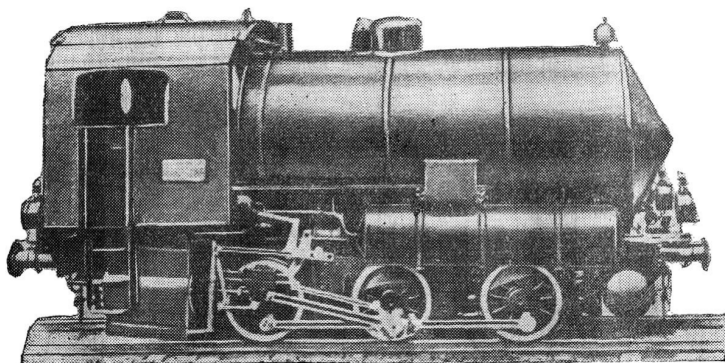
золотниками диаметром 200 мм. Впуск пара — внутренний. Реверс — рычажный. Клапанный регулятор типа Цара. Смазка цилиндров производится чашечными маслёнками всасывающего типа. Тормоз ручной с перекидным рычагом в будке (удобен в работе). Освещение электрическое от аккумулятора.

Кроме обычных автотормозных приборов, бестопочные паровозы оборудованы прямодействующими пневматическими и ручными тормозами для обеспечения безопасной работы при пониженном давлении в котле. По этой же причине установлен главный воздушный резервуар увеличенного объёма.

На фиг. 3 показан общий вид трёхосного бестопочного импортного паровоза с максимальным давлением зарядки 25 ат. У этого паровоза парораспределение — клапанное. Впускные клапаны расположены сверху цилиндра, а выпускные — снизу. Впускные клапаны приводятся в действие прямой рейкой, которая соединена с верхним концом маятника. Средний шарнир маятника соединён тягой с кулисой Вальсхарта, а нижний его конец — обычным поряд-

ком с ползуном. Выпускные клапаны приводятся в действие особым рычагом и прямой рейкой также от кулисного механизма. Реверс — рычажный с зубчатой дугообразной рейкой. Диаметр цилиндра 610 мм, ход поршня 460 мм. Максимальная отсечка 80%. Диаметр колёс 960 мм.

Тормозная система паровоза состоит из тормозного крана Вестингауза, запасного резервуара и трёх главных воздушных резервуаров, рассчитанных на длительный период работы между зарядками. Зарядка резервуаров воздухом производится особым компрессором в период зарядки котла-аккумулятора паром.



Фиг. 3. Внешний вид бестопочного паровоза с максимальным давлением 25 ат

Кроме торможения, сжатый воздух расходуется для работы пневматической песочницы, подающей песок под колёса средней оси.

2. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ АККУМУЛИРОВАНИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Как известно, в различных отраслях транспортной техники получили широкое распространение электрические аккумуляторы. Эти аккумуляторы сначала заряжаются постоянным электрическим током, а затем становятся способными на известное время отдавать полученную электрическую энергию для выполнения необходимой работы.

Кроме электрических аккумуляторов, большое применение в технике имеют и тепловые аккумуляторы, обладающие при известных условиях свойствами накапливать и отдавать тепловую энергию.

Аккумулирующую способность имеет и обычный паровозный котёл. В напряжённых условиях работы машинисты паровозов иногда применяют «заём у котла», заключающийся в том, что при непрерывном отборе пара на известный период прекращают питание

котла водой. При этом количество тепла, нормально расходуемое на подогрев новых порций вводимой питательной воды до температуры кипения, используется на поддержание рабочего давления в котле при усиленном парособразовании.

При работе с «займом» уровень воды в паровозном котле довольно быстро снижается, поэтому возможный период такой работы в зависимости от серии паровоза колеблется при больших форсировках в пределах 5—7 мин.

Значительно больший запас тепла имеется в котлах-аккумуляторах бестопочных паровозов, в которых, как видно по самому названию, топливо не расходуется вообще, а источником парособразования является тепло воды паро-водяного аккумулятора.

Котёл-аккумулятор бестопочного паровоза значительно легче по весу, чем котёл обычного паровоза с одинаковым весом воды, так как в котле-аккумуляторе отсутствуют дымогарные трубы, связи, анкерные болты, колосниковая решётка, зольник, дымовая коробка и т. д.

Для того чтобы более детально уяснить, как аккумулируется (накапливается) тепловая энергия в бестопочном паровозе, необходимо предварительно рассмотреть, на что расходуется тепловая энергия в процессе парособразования.

Единицей теплоты — большой калорией, или килокалорией (*ккал*), называется количество тепла, которое расходуется на нагрев 1 кг воды на 1° в интервале температур от 14,5 до 15,5°.

Чтобы получить 1 кг сухого насыщенного пара при постоянном давлении, нужно последовательно затратить два различных количества тепловой энергии. Сначала тепло расходуется на нагревание холодной воды до температуры кипения, соответствующей данному давлению. Это количество тепла отсчитывается от 0° и называется теплосодержанием кипящей воды. Чем выше котловое давление, тем до известной степени и выше температура кипения воды, а следовательно, и её теплосодержание. При нормальном барометрическом давлении вода начинает кипеть при 99,1°, на что затрачивается 99,2 *ккал/кг*. При давлении в котле 14 *ат* (по манометру) вода закипает при 197,4°, на что требуется затратить тепла уже 200,7 *ккал/кг*. Если далее подводить тепло к кипящей воде и сохранить при этом постоянное давление в котле, то и температура кипящей воды останется постоянной. Тепло при этом затрачивается на превращение кипящей воды в пар. Поэтому количество тепла, затраченное на преобразование кипящей воды в пар, называется скрытой теплотой парообразования, причём скрытой её называют потому, что при кипении температура не увеличивается, а тепло подводится.

Чтобы получить 1 кг сухого насыщенного пара, нужно сначала затратить тепло для доведения этого количества воды до кипения, а затем на превращение его в пар. Общее количество затраченного тепла на нагрев воды до точки кипения, а затем преобразования её в пар, называется теплосодержанием пара.

В табл. 1 сопоставлены величины, характеризующие процесс парообразования в интервале давлений до 200 *ати*. Как видно из таблицы, температура кипения и теплосодержание жидкости i' с увеличением давления непрерывно возрастают, а скрытая теплота парообразования r с увеличением давления уменьшается, т. е. чем больше давление, тем больше запас энергии в кипящей воде и тем меньше затрата тепла на превращение кипящей воды в пар.

Таблица 1

Величины, характеризующие процесс образования
сухого насыщенного водяного пара

Давление $P, \text{ ати}$	Данные					
	Темпера- тура ки- пения t_s	Удельный объём		Теплосодержание сухой жидкости $i', \text{ ккал/кг}$	Скрытая теплота $r, \text{ ккал/кг}$	Теплосодержание сухого пара $i'' = i' + r$
		кипящей воды $v' \text{ м}^3/\text{кг}$	сухого пара $v'' \text{ м}^3/\text{кг}$			
1	99,1	0,001043	1,725	99,2	539,5	638,7
2	119,6	0,00106	0,902	119,9	526,4	646,3
3	132,9	0,001073	0,616	133,5	517,3	650,8
4	142,9	0,001083	0,471	143,7	510,2	653,9
5	151,1	0,001092	0,382	152,1	504,2	656,3
7	164,2	0,001107	0,278	165,7	494,2	659,9
9	174,5	0,00112	0,219	176,5	485,8	662,3
11	183,2	0,001132	0,181	185,7	478,4	664,1
13	190,7	0,00114	0,154	193,6	472	665,6
15	197,4	0,00115	0,134	200,7	466	666,7
17	203,4	0,001162	0,119	207,2	460,3	667,5
20	211,4	0,001175	0,1016	215,9	452,6	668,5
25	222,9	0,001195	0,0815	228,6	440,7	669,3
30	232,8	0,001214	0,068	239,6	430	669,6
35	241,4	0,00123	0,0582	249,5	419,9	669,4
50	262,7	0,001283	0,0403	274,3	393,2	667,5
60	274,3	0,001315	0,0331	288,4	377	665,4
75	289,2	0,001363	0,0259	307,1	353,9	661,0
100	309,5	0,001445	0,01846	334,3	317,4	651,7
125	326,3	0,001539	0,01386	358,6	281,2	639,8
150	340,6	0,00164	0,01067	381,9	243,7	625,6
175	353	0,00178	0,00823	405,2	202	607,2
200	364,1	0,002	0,00618	431,4	149,7	581,1

В 1-й графе таблицы указаны давления в абсолютных атмосферах (условный индекс *ати*). Величина абсолютного давления принимается равной давлению по манометру плюс 1 атмосфера (манометрическое давление имеет условный индекс *ати*).

В 3-й графе таблицы даны значения удельных объёмов кипящей воды $v' \text{ м}^3/\text{кг}$ и в графе 4 — величины удельного объёма сухого пара $v'' \text{ м}^3/\text{кг}$.

Рассмотрим, как происходит накопление тепла в котле-аккумуляторе при его зарядке. Зарядка котла-аккумулятора производится при давлении в нём около 1—2 *ати* и заполнении водой на 65—70%. Для зарядки котла-аккумулятора впускается пар от парокотель-

ной установки по трубе, расположенной в воде возле дна аккумулятора. Пар, поступающий в водяное пространство котла-аккумулятора, конденсируется, т. е. превращается в жидкость. При этом выделяется скрытая теплота парообразования, которая вызывает интенсивное нагревание воды, образование пара и постепенное повышение давления в котле и температуры котловой воды. Так как давление в парокотельной установке выше, чем давление в котле-аккумуляторе в начале его зарядки, то конденсат, образовавшийся из пара, также отдаёт часть своего тепла до теплосодержания всей воды в котле-аккумуляторе при данном давлении. Это тепло также идёт на повышение давления и температуры котловой воды. Так, при впуске пара в котёл-аккумулятор от парокотельной в связи с постепенным повышением давления в аккумуляторе всё время происходит процесс накопления тепла котловой водой вплоть до полной зарядки в зависимости от величины давления в котле паросиловой установки и допускаемого максимального давления в котле-аккумуляторе.

При разрядке котла-аккумулятора происходит обратный процесс, т. е. с понижением давления происходит образование пара за счёт разности теплосодержания жидкости, соответствующей начальному и данному давлению в котле.

В качестве примера рассмотрим, какой общий запас тепла будет в котле-аккумуляторе с его объёмом кипящей воды 12 м^3 и сухого пара 3 м^3 при давлении 15 атм .

По табл. 1 находим, что удельный объём кипящей воды при давлении 15 атм равен $0,00115 \text{ м}^3/\text{кг}$. При этом вес 12 м^3 кипящей воды будет

$$12 : 0,00115 = 10\,430 \text{ кг.}$$

Далее по табл. 1 находим также, что теплосодержание кипящей воды при этом давлении равно $200,7 \text{ ккал/кг}$, откуда общее количество тепла в воде получим

$$10\,430 \cdot 200,7 = 2\,100\,000 \text{ ккал.}$$

Удельный объём сухого насыщенного пара при давлении 15 атм по табл. 1 находим равным $0,134 \text{ м}^3/\text{кг}$, откуда вес 3 м^3 пара составит

$$3 : 0,134 = 22,4 \text{ кг.}$$

Теплосодержание 1 кг сухого насыщенного пара по табл. 1 находим равным $666,7 \text{ ккал/кг}$, откуда общее количество тепла в паре будем иметь

$$22,4 \cdot 666,7 = 14\,900 \text{ ккал.}$$

Таким образом общее теплосодержание пара в котле по отношению к теплосодержанию кипящей воды составляет всего лишь

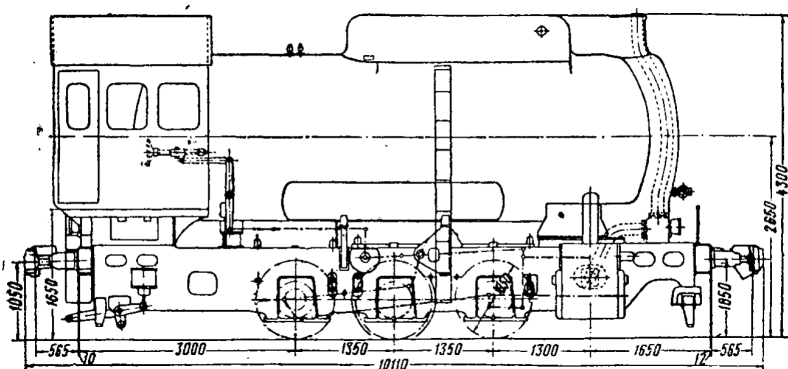
$$\frac{14\,900}{2\,100\,000} 100\% = 0,7\%.$$

Поэтому запасом тепла в паровом пространстве котла-аккумулятора обычно при расчётах пренебрегают.

Ознакомившись с основами аккумулирования тепла, рассмотрим теперь более подробно устройство бестопочного паровоза типа БП1.

3. БЕСТОПОЧНЫЙ ПАРОВОЗ ТИПА БП1

За последние годы в СССР по инициативе организаций нефтяной промышленности был поставлен вопрос о серийном производстве бестопочных паровозов. Проект трёхосного бестопочного паровоза типа БП1 был выполнен Коломенским паровозостроительным заводом имени В. В. Куйбышева на базе широко известного промышленного паровоза 9П, выпускаемого Муромским паровозостроительным заводом, который и построил первые паровозы БП1 (см. фиг. 1)



Фиг. 4. Схема паровоза типа БП1

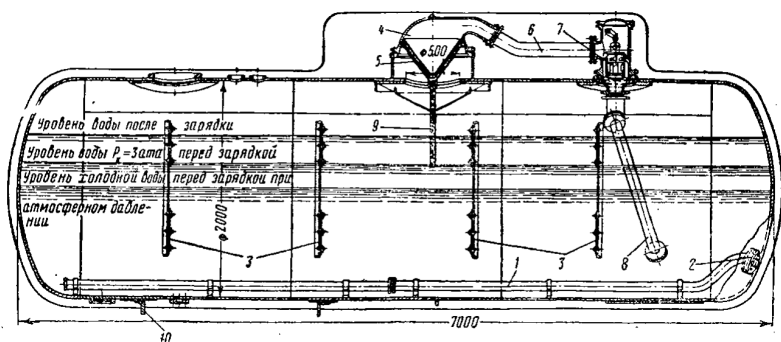
в 1954 г. В этих паровозах оставлены без изменения по сравнению с паровозами 9П паровые цилиндры, парораспределительный и движущий механизмы и экипажная часть. На фиг. 4 показана схема первого паровоза типа БП1. Сверху над котлом-аккумулятором в общем кожухе находятся песочница, паровой колпак и регуляторная головка. Ниже котла виден тормозной воздушный резервуар, которых на паровозе два. На котле сверху поставлены два предохранительных клапана. В будке на днище котла размещена арматура: водомерное стекло, водопробные краны и манометр. Там же в будке с правой стороны котла находятся рычаг регулятора, винтовой реверс и кран машиниста.

Вследствие большого диаметра котла-аккумулятора в передачу от реверса к кулисному камню введён двуплечий рычаг, поэтому переднему положению указателя реверса соответствует не передний ход паровоза, а обратный. Над котлом в пределах будки установлены вентили для подвода пара к свистку, паро-воздушному насосу

и к пресс-маслёнке. Паро-воздушный тандем-насос поставлен с левой стороны паровоза, около будки. Пресс-маслёнка находится над правым паровым цилиндром. Кроме обычного автотормозного оборудования, на паровозе имеется устройство для прямодействующего торможения и ручной тормоз. Паровыхлопная труба выведена вверх на месте обычной дымовой трубы. Впереди в нижней части котла виден клапан парозарядной трубы.

Для электроосвещения на паровозе имеются три аккумуляторные батареи общей ёмкостью 45 а-ч, дающие ток четырём буферным фонарям и потолочному фонарю в будке. Все осветительные устройства, выключатели и проводка выполнены как взрывобезопасные.

На фиг. 5 показан разрез сварного котла-аккумулятора паровоза БП1. У дна котла расположена зарядная труба 1, которая прикреплена к впускному фланцу 2. Перегородки 3 установлены для



Фиг. 5. Котёл-аккумулятор паровоза БП1

уменьшения колебаний водяного уровня при резком изменении скорости движения. Сверху размещён сухопарник 4 с паросушителем 5, откуда пар по трубе 6 подводится к клапанному регулятору 7, а затем по двум трубам 8 к паровым цилиндрам. Трубы 8 размещены внутри котла для уменьшения внешнего охлаждения подводимого к цилиндрам пара. Сухопарник, регулятор и песочница закрыты общим кожухом обшивки с изоляцией. Отделяемая паросушителем вода стекает вниз по стержню 9. Цилиндрическая часть котла-аккумулятора изолирована двумя слоями вулканических лекальных плит толщиной по 40 мм (ОСТ НКТП 3114), а днища покрыты асбестом толщиной 5 мм и вулкаником толщиной 75 мм. Снаружи котёл покрыт металлической обшивкой. В передней части котёл-аккумулятор жёстко прикреплён к раме, а в средней части и сзади имеет скользящие опоры 10.

Простота управления паровозом БП1 и взаимозаменяемость многих его деталей с широко распространённым паровозом 9П имеют большое значение для транспорта промышленных предприятий.

Основные конструктивные данные паровоза БП1:

Общие данные

Высота паровоза (по кожуху парового колпака)	
в мм	4 300
Полная длина по линии зацепления автосцепок	
в мм	10 110
Полная база в мм	2 700
Жёсткая база в мм	2 700
Вес в рабочем состоянии в т	57
Нагрузка на ось в т	19
Конструктивная скорость в км/час	35
Наименьший радиус кривой в м	40
Габарит	1П

Котёл-аккумулятор

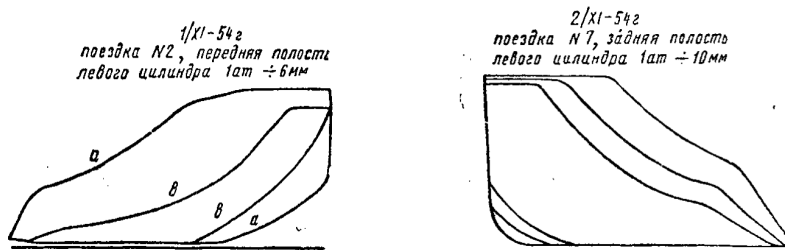
Давление пара в <i>ати</i>	16
Полная длина котла в мм	7 000
Наружный диаметр барабана в мм	2 036
Толщина листов барабана в мм	18
Вес металла в кг	8 200
Полный объём в м ³	21,04
Объём воды (при заполнении на 80%) в м ³	16,83
Вес воды (в заряженном состоянии) в кг	14 500
Зеркало испарения (в заряженном состоянии)	
в м ²	11,45

Паровая машина

Диаметр цилиндра в мм	500
Ход поршня в мм	500
Диаметр золотника в мм	200
Условная сила тяги (при давлении 16 <i>ати</i>)	
в кг	11 430
Условная сила тяги (при давлении 2 <i>ати</i>) в кг	1 430

Первый из серийных бестопочных паровозов БП1-01 в начале ноября 1954 г. прошёл краткие предварительные испытания, показавшие его надёжным локомотивом, свободно развивающим достаточную силу тяги и соответствующую скорость. Ходовые испытания проводились в поездной обстановке с грузовыми вагонами и динамометрическим вагоном. Снятые индикаторные диаграммы (фиг. 6) показали хорошую работу паровой машины и парораспределительного механизма при постепенном снижении давления в котле-аккумуляторе. При испытаниях индикаторная мощность достигала 137 л. с. При давлении в котле-аккумуляторе 1,3 *ати* паровоз на площадке развил скорость до 8—10 км/час. Проведённые наблюдения по внешнему охлаждению котла показали хорошее качество его наружной изоляции, падение давления при стоянке на заводских путях, ветре средней силы и наружной температуре около нуля не превышало $\frac{1}{4}$ ат в час.

Летом 1955 г. бестопочный паровоз БП1-02 после предварительного пробега в рабочем состоянии 2 000 км был подвергнут подробным эксплуатационным испытаниям, давшим хорошие результаты. Паровоз брал с места гружёные составы весом до 1 700 т и успешно осуществлял все виды маневровой работы. Продолжительность работы на манёврах между заправками с составами весом до 250 т



Фиг. 6. Индикаторные диаграммы паровоза БП1

в интервале давлений от 16 до 2 атм в среднем была 5—7 час. При давлении в котле 2,5 атм паровоз прошёл на прямом горизонтальном пути до 10 км.

Построенные три бестопочных паровоза продолжают успешно работать на нефтяных предприятиях.

4. РАСЧЁТНЫЕ ДАННЫЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДКИ И РАЗРЯДКИ КОТЛА-АККУМУЛЯТОРА

При смешении насыщенного или перегретого пара с водой в котле-аккумуляторе получается горячая вода, максимально возможная температура которой равна температуре кипения при данном давлении.

В табл. 2 приведены расчётные данные для зарядки котла-аккумулятора сухим насыщенным паром при различных давлениях. Здесь для различных конечных давлений зарядки P_2 указаны величины удельной аккумулирующей способности при зарядке по отношению к 1 м³ кипящей воды. Расчётные данные указаны для пяти исходных состояний в начале зарядки, причём последняя строка дана для начального давления зарядки $P_1=17$ атм, т. е. для условий работы бестопочного паровоза высокого давления с разрядкой до 17 атм.

С понижением начального давления зарядки P_1 аккумулирующая способность, как видно из табл. 2, значительно увеличивается, например, при $P_1=17$ атм и $P_2=100$ атм удельная аккумулирующая способность равна 198 кг пара/м³ воды, а при $P_1=1$ атм и том же $P_2=100$ атм получается уже 294 кг пара/м³ воды.

Таблица 2

Расчётные данные удельной аккумулирующей способности
сухого насыщенного пара на 1 м³ воды при зарядке котла-аккумулятора

Удельная аккумулирующая способность	Давление P_1 атм								
	5	10	15	25	50	75	100	150	200
Зарядка от $t_1 = 15^\circ$									
кг пара/м³ воды	196	226	247	274	310	332	347	365	369
Зарядка от $P_1 = 1$ атм, $t_1 = 99,1^\circ$									
кг пара/м³ воды	87	129	155	190	240	272	294	326	346
Зарядка от $P_1 = 3$ атм									
кг пара/м³ воды	33	80	109	148	206	242	268	307	334
Зарядка от $P_1 = 5$ атм									
кг пара/м³ воды	—	51	82	124	185	224	252	295	327
Зарядка от $P_1 = 17$ атм									
кг пара/м³ воды	—	—	—	39	114	162	198	254	301

В процессе разрядки из котла-аккумулятора выходит сухой пар при постепенном понижении давления. По данным табл. 1 можно видеть, что по мере понижения давления теплосодержание сухого пара меняется весьма незначительно, а скрытая теплота парообразования сильно увеличивается.

Например, при разрядке котла-аккумулятора от 125 до 3 атм начальное теплосодержание сухого пара при 125 атм равно 639,8 ккал/кг, а конечное теплосодержание сухого пара при 3 атм равно 650,8 ккал/кг, т. е. почти не меняется. Между тем скрытая теплота парообразования при 125 атм равна 281,2 ккал/кг, а при 3 атм — 517,3 ккал/кг, т. е. увеличивается на 84%.

Выше было указано, что при парообразовании в котле-аккумуляторе накопленное в нём тепло расходуется только на испарение, так как кипящая вода уже содержит в себе теплоту жидкости, соответствующую данному давлению. Поэтому котёл-аккумулятор в случае зарядки насыщенным паром отдаёт при разрядке меньше пара по весу, чем истрачено на зарядку. Уровень воды в котле при этом от зарядки к зарядке будет повышаться и потребуется периодически спускать из котла известное количество воды. Потеря тепла на внешнее охлаждение также приводит к уменьшению количества выделяющегося пара при разрядке.

Как известно, теплосодержание перегретого пара значительно больше теплосодержания насыщенного пара. Поэтому, расходуя

на зарядку 1 000 кг перегретого пара, при разрядке мы будем получать за счёт меньшего теплосодержания уже 1 100 кг и больше насыщенного пара. Это вызывает уменьшение количества воды в котле-аккумуляторе от зарядки к зарядке и требует периодического добавления воды. Добавление кипящей воды связано с необходимостью иметь специальные устройства для её нагрева и хранения, а добавление холодной воды даёт чрезмерные тепловые деформации и увеличивает срок зарядки. Поэтому зарядка котлов-аккумуляторов перегретым паром встречается довольно редко.

Отношение веса пара, отдаваемого при разрядке каждым m^3 котловой воды, к весу пара, затраченного на зарядку при той же разности давлений, называется коэффициентом разрядки K_p . Этот коэффициент при максимальных давлениях зарядки от 100 *ата* и выше оказывается существенно меньше 1.

В табл. 3 указаны расчётные данные по аккумулярующей способности для различных начальных давлений разрядки P_2 . Здесь для каждого из пяти исходных состояний зарядки в верхней и нижней строках даны величины коэффициента разрядки K_p и удельной аккумулярующей способности разрядки по отношению к объёму кипящей воды.

На фиг. 7 нанесены кривые величин удельной аккумулярующей способности в зависимости от конечного давления P_2 . Из графика видно, что повышение давления в котле-аккумуляторе более 120 *ата* очень мало увеличивает аккумулярующую способность.

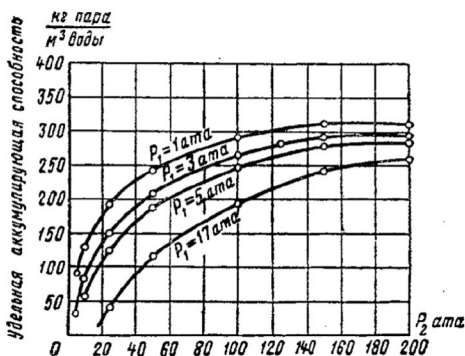
При зарядке насыщенным паром, как указывалось выше, количество отдаваемого пара несколько меньше, чем количество затраченного на зарядку.

Пример. Определить количество сухого насыщенного пара при зарядке и разрядке котла-аккумулятора с объёмом воды 20 m^3 , если максимальное давление 150 *ата* и минимальное 3 *ата*.

Решение. По табл. 2 находим удельную аккумулярующую способность для указанного интервала давлений, равную 307 $кг/м^3$, т. е. для котла с объёмом воды 20 m^3 на зарядку будет расходоваться:

$$307 \cdot 20 = 6\,140 \text{ кг.}$$

По табл. 3 находим удельную аккумулярующую способность при разрядке для указанных условий, равную 290 $кг/м^3$, откуда общий расход пара будет $290 \cdot 20 = 5\,800 \text{ кг.}$



Фиг. 7. Зависимость расхода пара при разрядке от давления P_2 .

Коэффициент разрядки получается 0,94.

Таблица 3

Расчётные данные по аккумулярующей способности для различных начальных давлений разрядки P_2 , конечных давлений разрядки P_1 и коэффициентов разрядки K_p

Удельная аккумулярующая способность и коэффициент разрядки K_p	Давление P_1 , <i>ата</i>							
	5	10	15	25	50	100	150	200
$P_1 = 1 \text{ ата}$								
K_p	1	1	1	1	1	0,98	0,945	0,89
кг пара/м ³ воды	88	131	157	193	241	289	309	308
$P_1 = 3 \text{ ата}$								
K_p	1	1	1	1	1	0,98	0,942	0,88
кг пара/м ³ воды	33	81	111	151	207	263	290	294
$P_1 = 5 \text{ ата}$								
K_p	—	1	1	1	1	0,975	0,942	0,872
кг пара/м ³ воды	—	51	83	125	186	246	278	285
$P_1 = 17 \text{ ата}$								
K_p	—	—	—	1	1	0,975	0,935	0,86
кг пара/м ³ воды	—	—	—	39	114	193	237	258

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО ДАВЛЕНИЯ ЗАРЯДКИ В КОТЛЕ-АККУМУЛЯТОРЕ

Так как аккумулярующая способность по весу пара ещё не определяет работоспособности пара, получаемого при разрядке, то наиболее выгодное давление конца зарядки следует определять с учётом количества тепла, переходящего в механическую работу при расширении до давления выпуска из машины.

В пределах до 20—25 *ата* повышение давления зарядки не связано со значительным увеличением металлоёмкости котла-аккумулятора, т. е. для этих давлений общая энергоёмкость примерно пропорциональна максимальному давлению зарядки.

При высоких давлениях этот вопрос необходимо рассмотреть более подробно.

Проведённые подробные расчёты в пределах до 200 *ата* дали возможность сделать определённые выводы в этом направлении. Для расчётов были приняты: предварительное мятие от начального давления до 17 *ата*, конечное давление разрядки 3 *ата*, внут-

ренный диаметр котла-аккумулятора 2 м, заполнение котла водой при полной зарядке на 80%. Так как пар из цилиндров бестопочного паровоза выходит непосредственно в атмосферу, то конечное давление расширения было принято равным 1 *атм*. В итоге рассмотрения проведённых расчётов оказалось:

1) наивыгоднейшее максимальное давление зарядки при любом качестве металла лежит в пределах 50—80 *атм*;

2, для котлов-аккумуляторов с давлением более 20 *атм* необходимо применять сталь высокого качества, так как от этого в большей степени зависит располагаемый запас мощности;

3) применение максимальных давлений зарядки, больших, чем 60—80 *атм*, нецелесообразно, так как возможный запас мощности существенно уменьшается и возрастает затрата металла.

Как показывают соответствующие подробные расчёты, если принять другое значение давления разрядки, чем 3 *атм*, то и величина наивыгоднейшего максимального давления зарядки меняется. Так, например, при разрядке только до 17 *атм* наивыгоднейшим давлением зарядки будет 80—120 *атм*.

Бывают случаи, когда от бестопочного паровоза требуется работа с постоянным тяговым усилием: перевозка больших составов на станции МПС и обратно или их передача из одного района предпринятия в другие. В таких условиях целесообразно иметь бестопочные паровозы с максимальным давлением зарядки 80—120 *атм* и использовать запас мощности при дросселировании пара между котлом и машиной в пределах разрядки до 17—15 *атм*. Эти бестопочные паровозы имеют значительно большую экономичность и развивают постоянную силу тяги более длительный период по сравнению с паровозами более низкого давления. В иностранных технических журналах за последние годы встречаются указания на заказы новых бестопочных паровозов преимущественно высокого давления.

6. ЗАПАС ЭНЕРГИИ В БЕСТОПОЧНОМ ПАРОВОЗЕ ТИПА БП1

При перепаде давлений в котле от 17 до 3 *атм* общее количество отдаваемого пара при разрядке получается 2 120 кг. Имея общий запас пара, можно найти ориентировочно возможный при разрядке запас мощности в лошадиных силах, если принять средний удельный расход пара на касательную *л. с. ч.* равным 22 кг. По этим данным находим приблизительный запас мощности:

$$\frac{2\,120}{22} \approx 100 \text{ л.с.ч.}$$

Проведённые сравнительные расчёты показывают, как изменяется запас энергии в котле-аккумуляторе паровоза БП1 при увеличении максимального давления зарядки (общий вес котла не меняется):

Давление зарядки в <i>атм</i> . . .	17	35	50	75	100
Количество пара в <i>кг</i> при разрядке до 3 <i>атм</i>	2 120	2 620	2 600	2 440	2 290
Запас мощности в л. с. ч. . . .	100	141	148	144	138

Детальной разработкой вопроса о наивыгоднейшем максимальном давлении зарядки установлено, что эта величина колеблется около 50 *атм*. Эти соображения были положены в основу составления проекта бестопочного паровоза высокого давления типа БП2. Разработанный конструкторским бюро Муромского паровозостроительного завода проект паровоза БП2 предусматривает для общего веса трёхосного паровоза 57 *т* следующие основные размеры котла-аккумулятора:

Полная длина котла в <i>мм</i>	6 000
Внутренний диаметр котла в <i>мм</i>	1 712
Толщина листов барабана в <i>мм</i>	44
Вес металла котла в <i>кг</i>	13 500
Полный объём котла в <i>м</i> ³	12,98
Объём воды при полной зарядке в <i>м</i> ³	10,71

Аккумулирующая способность по пару в котле паровоза БП2 при зарядке до 50 *атм* и разрядке до 2 *атм* будет примерно в 1,5 раза больше, чем в котле паровоза БП1. Так как в бестопочных паровозах высокого давления применяются паровые цилиндры для нормального давления впуска 12—17 *атм*, то между котлом-аккумулятором и цилиндрами в паровозе БП2 намечено поставить полуавтоматическую систему регулирования, снижающую давление пара до установленной величины.

При необходимости повышения мощности бестопочного паровоза по сравнению с трёхосным БП1 этот вопрос может быть решён постановкой более мощного котла-аккумулятора с одновременным увеличением числа сцепных осей для сохранения допускаемых нагрузок на ось. Приблизённо можно считать, что возможный вес котла-аккумулятора, запас пара, а следовательно, и запас мощности будут прямо пропорциональны числу осей. Соответствующие расчёты показывают, что для пятиосного бестопочного паровоза возможна установка котла-аккумулятора достаточной ёмкости на все варианты максимального давления зарядки при диаметре котла с обшивкой не более 2,2 *м*.

Если бестопочный паровоз должен работать длительное время без зарядки или от него на более короткий период требуется высокая мощность, то этого можно достигнуть посредством прицепки к паровозу четырёхосной платформы с установленным на ней дополнительным котлом-аккумулятором. Запас пара при этом можно получить в 3—4 раза больший, чем от отдельного паровоза, так как за счёт уменьшенной нагрузки на оси от самой платформы можно повысить ёмкость дополнительного котла-аккумулятора.

Проверим котёл-аккумулятор паровоза БП1 на возможную скорость разрядки. По данным технического проекта этого паровоза

зеркало испарения при полной зарядке (т. е. минимальное по площади для заполнения на 80%) равно $11,45 \text{ м}^2$.

Без заметного появления влажности в паре допускается паросъём 600 м^3 пара в час на 1 м^2 зеркала испарения.

Средний удельный объём сухого насыщенного пара в интервале давлений от 17 до 3 *ата* равен $0,368 \text{ м}^3/\text{кг}$, откуда допускаемое при разрядке весовое количество пара для этих условий составит

$$\frac{600}{0,368} = 1630 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

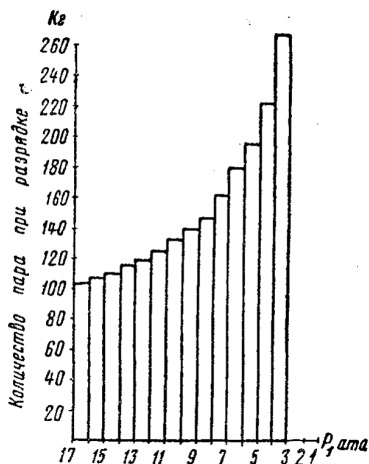
Если принять, что котёл-аккумулятор паровоза БП1 будет разряжен за 1 час, то при возможном общем расходе пара 2120 кг это даст паросъём на 1 м^2 зеркала испарения:

$$\frac{2120}{11,45} = 185 \text{ кг/м}^2 \text{ час.}$$

Сравнивая это значение с допустимым по условиям получения сухого пара паросъёмом $1630 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$, видим, что ограничение скорости разрядки по влажности пара полностью отпадает, так как паровоз БП1 работает несколько часов между очередными зарядками.

На фиг. 8 дан график зависимости общего количества пара от котла-аккумулятора паровоза БП1 при разрядке от 17 *ата* для интервалов давлений через 1 *ат*. Из графика наглядно видно, как по мере уменьшения давления в котле-аккумуляторе увеличивается аккумулирующая способность в килограммах пара на каждую атмосферу разности давлений. Например, при понижении давления от 14 до 13 *ата* выделяется 115 кг пара, а при понижении от 4 до 3 *ата* тот же самый котёл-аккумулятор отдаёт уже 270 кг. Это в известной степени компенсирует уменьшение работоспособности пара при снижении котлового давления.

В связи с тем, что давление в котле-аккумуляторе бестопочного паровоза непрерывно снижается, для поддержания относительно постоянных скоростей следования и силы тяги обычно применяют дросселирование расходуемого пара регулятором. Чем больше дросселирование пара, тем до определённого предела получается большее количество располагаемого пара в этом интервале давлений, но одновременно дросселирование пара уменьшает используемый



Фиг. 8. График расхода пара при разрядке для интервалов давлений через 1 *ат*

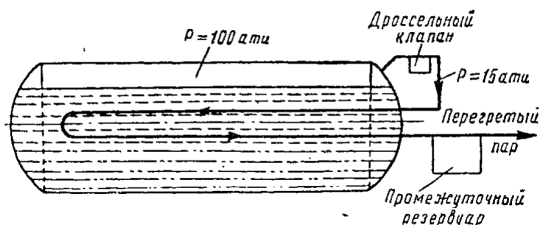
интервал давлений и теплосодержаний. Поэтому важно установить, до какой же величины целесообразно мять пар регулятором, чтобы иметь достаточный период работы при постоянных значениях скорости и силы тяги и в то же время избежать чрезмерного снижения работоспособности пара.

Подробными расчётами выявлено, что для работы с относительно постоянными скоростью и силой тяги наиболее целесообразно дросселировать пар до 6—8 *ати*. В соответствии с этим следует признать необходимым установить в будке бестопочного паровоза дистанционный манометр, показывающий давление пара в золотниковой коробке. Сопоставление показаний такого манометра с котловым позволило бы машинисту избежать слишком большого мятия пара, т. е. увеличить экономичность использования запаса пара и пробег паровоза между зарядками.

Следует также отметить, что по мере уменьшения давления в котле-аккумуляторе становится более выгодным применять увеличение отсечки. Это подтверждается и опытом работы машинистов, которые в процессе работы при пониженных давлениях в котле-аккумуляторе полностью спускают рычаг реверса.

7. ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ В БЕСТОПОЧНЫХ ПАРОВОЗАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Пар, выходящий из котла некоторых типов бестопочных паровозов высокого давления при 100—120 *ати*, поступает в дроссельный клапан, дросселируется до 12—17 *ати*, после чего проходит в пароперегреватель, расположенный внутри котла (фиг. 9), где



Фиг. 9. Схема внутрикотлового пароперегревателя в бестопочном паровозе высокого давления

и получает небольшой перегрев за счёт более высокой температуры котловой воды. По выходе из перегревателя пар поступает в промежуточный резервуар в виде кольцевого трубопровода большого диаметра и затем через регулятор направляется в цилиндры. Промежуточный резервуар поставлен для уменьшения пульсаций давления в системе, возникающих при включении и выключении машины или при изменении отсечки. По мере снижения давления в

котле-аккумуляторе понижается и температура котловой воды, а следовательно, снижается перегрев пара.

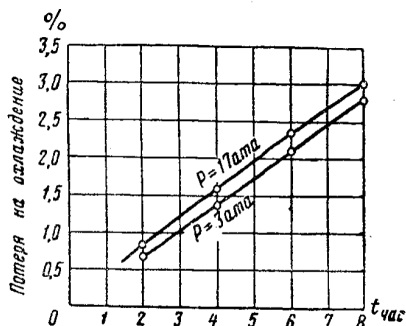
Большое значение перегрева пара для уменьшения его расхода на единицу мощности паровой машины хорошо известно, но степень перегрева пара по котлу для всего интервала давлений будет в среднем не выше 45—50°, а по цилиндрам ещё меньше, поэтому применение внутрикотлового перегрева вряд ли может дать сколько-нибудь существенный эффект.

Так как на образование 1 кг перегретого пара нужно больше тепла, чем отдаёт 1 кг заряжающего насыщенного пара, то уровень воды в котле-аккумуляторе от разрядки к разрядке за счёт внутрикотлового перегрева будет значительно повышаться, что потребует периодического спуска из котла излишней воды, т. е. даёт дополнительную тепловую потерю.

По этим соображениям применение внутрикотлового перегрева, осложняющего конструкцию котла, не следует считать рациональным.

8. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧНОСТИ БЕСТОПОЧНОГО ПАРОВОЗА

Потеря на внешнее охлаждение приводит к снижению давления в котле-аккумуляторе на 0,25—0,5 *ат* в час в зависимости от качества изоляции и температуры наружного воздуха. На фиг. 10 даны потери на внешнее охлаждение для котла-аккумулятора паровоза БП1 в зависимости от времени и при температуре наружного воздуха 0°. Потеря на охлаждение выражена в % от общего содержания тепла в котле для давления 17 и 3 *атм*. Из расположения линий потерь видно, что величина внутреннего давления в указанном интервале сравнительно мало влияет на охлаждение. В среднем за 8 час. работы можно принять потерю на внешнее охлаждение, равную около 3%.



Фиг. 10. Потери на внешнее охлаждение

Следует, однако, отметить, что общая аккумулирующая способность с понижением давления в котле уменьшается довольно существенно. Например, коэффициент разрядки при давлении в котле 17 *атм* без учёта внешнего охлаждения можно принимать равным 1, в то время как при потере 3% тепла на внешнее охлаждение коэффициент разрядки K_p будет равен всего лишь 0,94. Поэтому при оценке коэффициента полезного действия (к. п. д.) котла-аккумулятора нужно учитывать именно коэффициент разрядки, тем бо-

лее, что теплосодержание пара при разрядке почти не зависит от давления (имеется в виду ограниченный интервал давлений 20—3 *атм*).

При высоком давлении в котле-аккумуляторе относительная потеря на внешнее охлаждение будет больше, несмотря на уменьшение размеров котла. Расчёты показывают, что для котла-аккумулятора с давлением 100 *атм* и при весе, равном весу котла паровоза БП1, внешнее охлаждение за 8 час. составляет тепловую потерю уже в 4,7%, а коэффициент разрядки $K_p = 0,9$.

К. п. д. котла-аккумулятора в целом можно найти из произведения к. п. д. стационарной котельной установки, от которой заряжаются бестопочные паровозы, на коэффициент разрядки по пару.

Для обычного бестопочного паровоза при давлениях 15—25 *атм* коэффициент разрядки учитывает только внешнее охлаждение. Для бестопочных паровозов высокого давления коэффициент разрядки учитывает как внешнее охлаждение, так и разницу в теплосодержаниях заряжающего и расходуемого пара.

При к. п. д. парового котла котельной 0,80 и среднем значении коэффициента разрядки 0,97 для бестопочного паровоза с обычным котловым давлением к. п. д. котла-аккумулятора получим так:

$$0,8 \cdot 0,97 = 0,78.$$

Работе 1 лошадиной силы в час теоретически соответствует количество тепла 632 *ккал*. Практически же паровая машина бестопочного паровоза с давлением зарядки до 17 *атм* расходует на 1 лошадиную силу в среднем около 22 *кг* сухого пара со средним теплосодержанием 662 *ккал/кг*. Тогда действительный расход тепла получим

$$22 \cdot 662 = 14\,550 \text{ ккал/л. с. ч.}$$

Пользуясь этими данными, найдём к. п. д. паровой машины

$$\frac{632}{14\,550} = 0,043 = 4,3\%.$$

Полный к. п. д. бестопочного паровоза можно найти, как произведение значений к. п. д. котла-аккумулятора и к. п. д. паровой машины. Для расчётных условий при обычном котловом давлении к. п. д. бестопочного паровоза получим

$$0,78 \cdot 0,043 = 0,0334 \approx 3,3\%.$$

Маневровая работа на промышленных предприятиях часто выполняется паровозами О^в. В литературе нет данных о тепловых испытаниях паровозов при маневровой работе, поэтому их экономичность придётся взять по весьма приблизительной оценке. Для паровозов 9П подробный паспорт тепловых испытаний вообще не издавался.

Как видно из кривых расхода пара на 1 касательную лошадиную силу по паспорту паровоза О^в при скорости, обычной для маневровой работы, 10 км/час и для отсечек, характерных для поездной работы 0,5 ÷ 0,7, расход пара при вполне открытом регуляторе равен 12 ÷ 13 кг/л. с.ч. При маневровой работе такие отсечки и полное открытие регулятора невозможны, поэтому для расчёта примем наименьшие значения отсечки и открытия регулятора, имеющиеся в паспорте.

Подробным расчётом для паровоза О^в получены следующие итоговые данные: при открытии регулятора 1/20 и наименьшей отсечке по паспорту расход пара примерно равен 1 600 кг/час, сила тяги на ободе движущих колёс (касательная сила тяги) — 1 550 кг, касательная мощность составляет примерно 57 л. с., удельный расход пара 28 кг/л. с. ч., к. п. д. котла — 0,67, к. п. д. машины — 0,0342. Экономичность паровоза О^в в целом при такой нагрузке составит

$$0,67 \cdot 0,0342 = 0,023 = 2,3\%,$$

т. е. существенно меньше, чем было получено выше для бестопочного паровоза (3,3%).

Такое высокое значение удельного расхода пара и низкое значение к. п. д. объясняются очень малым коэффициентом использования мощности паровоза при маневровой работе: вместо возможной в поездной работе касательной мощности для паровоза О^в 500—600 л. с. здесь имеем только 57 л. с.

Полученная величина силы тяги 1 550 кг при скорости 10 км в час на горизонтальном пути с кривой радиусом 350 м соответствует силе тяги, затрачиваемой на передвижение вагонов весом 240—350 т. Следовательно, проведённое для паровоза О^в определение экономичности сделано для реальных средних условий маневровой работы.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОГО ВЕСА ПОЕЗДА И ЧИСЛА ВАГОНОВ ДЛЯ БЕСТОПОЧНОГО ПАРОВОЗА БП1

В связи с непрерывным снижением давления в котле-аккумуляторе при работе снижается также и возможная сила тяги, которую развивает паровоз при перевозке вагонов. Поэтому необходимо хотя бы приблизительно знать силу тяги, вес поезда и число вагонов, перемещаемых бестопочным паровозом в зависимости от давления в котле и профиля пути.

Сила тяги, развиваемая паровозом на ободе движущих колёс, называется касательной силой тяги. Сила тяги, с которой паровоз тянет или толкает вагоны, называется силой тяги на сцепке. Разность величин касательной силы тяги и силы тяги на сцепке расходуется на преодоление общего сопротивления передвижению самого паровоза.

Определим значения силы тяги. Принимая среднюю скорость маневровой работы 10 км/час и отсечку, равную $0,5$, для частичного открытия регулятора паровоза БП1 при давлении впуска в машину 6 атм , находим расчётом касательную силу тяги, равную $3\,740 \text{ кг}$.

Общее сопротивление паровоза БП1 весом 57 т (при полной зарядке) на горизонтальном пути с кривой радиусом 350 м и при скорости 10 км/час равно 247 кг .

Находим силу тяги на сцепке!

$$3\,740 - 247 \approx 3\,500 \text{ кг}.$$

Если известно удельное сопротивление вагонов в кг/т , то вес поезда в тоннах определяется делением силы тяги на сцепке на удельное сопротивление вагона. Число вагонов одинакового веса находится как частное от деления силы тяги на сцепке на полное сопротивление одного вагона.

В табл. 4 приведены приближённые значения веса вагонов и их числа для установившейся скорости движения 10 км/час при давлении в котле-аккумуляторе паровоза БП1 более 6 атм . Величина возможного пробега зависит от профиля пути, давления в котле и запаса тепла в нём. Таблица составлена для двухосных и четырёхосных вагонов, причём вес двухосного порожнего вагона принят 10 т и гружёного — 30 т ; вес порожнего четырёхосного вагона принят 22 т и гружёного — 72 т . Значения таблицы подсчитаны для горизонтального пути и подъёмов 2 , 4 , 6 и 8 тысячных ($i = 2, 4, 6 \text{ и } 8\text{‰}$).

Пример. Определить, может ли паровоз БП1 при полном давлении зарядки, на 2‰ подъёме перемещать со скоростью 10 км/час состав из двух гружёных четырёхосных вагонов, четырёх гружёных двухосных вагонов и пяти порожних двухосных вагонов?

По табл. 4 находим сопротивление движению на подъёме 2‰ для гружёных четырёхосных вагонов 392 кг/ваг , гружёных двухосных вагонов 173 кг/ваг и порожних двухосных вагонов 61 кг/ваг . Общее сопротивление вагонов составит $2 \cdot 392 + 4 \cdot 173 + 2 \cdot 61 = 1\,781 \text{ кг}$. По табл. 4 находим силу тяги на сцепке при подъёме 2‰ , равную $3\,739 \text{ кг}$. Это указывает, что перемещение заданного веса состава на 2‰ подъёме со скоростью 10 км/час беспочвенным паровозом БП1 вполне возможно.

Учитывая неизбежные остановки при маневровой работе и езду на спусках, можно считать, что с указанной нагрузкой паровоз БП1 может проработать от зарядки к зарядке $4\text{—}5$ час.

На фиг. 11 показан график для определения возможного числа перемещаемых вагонов при скорости 10 км/час в зависимости от их веса и величины подъёма (с учётом кривой радиусом 350 м).

Для оценки веса состава при маневровой работе большое значение имеет сила тяги при трогании с места. В соответствии с «Правилами производства тяговых расчётов» при определении веса со-

Таблица 4

Данные для определения возможного веса состава и числа вагонов для перемещения их паровозом БПІ при скорости 10 км/час, радиусе кривой 350 м и в зависимости от подъёма

Данные	Порожные					Гружёные				
	Горизонт	$i = 2\text{‰}$	$i = 4\text{‰}$	$i = 6\text{‰}$	$i = 8\text{‰}$	Горизонт	$i = 2\text{‰}$	$i = 4\text{‰}$	$i = 6\text{‰}$	$i = 8\text{‰}$

Деревосные вагоны

Полное сопротивление паровоза в кг	247	361	475	590	703	247	361	475	590	703
Сила тяги на сцепке в кг	3493	3379	3265	3150	3037	3493	3379	3265	3150	3037
Удельное сопротивление вагонов в кг/т	4,1	6,1	8,1	10,1	12,1	3,77	5,77	7,77	9,77	11,77
Полное сопротивление одного вагона в кг	41	61	81	101	121	113	173	233	293	354
Вес вагонов в т	852	563	403	312	251	927	585	420	322	258
Число вагонов	85	55	40	31	25	31	19	14	11	9

Четырёхосные вагоны

Удельное сопротивление вагонов в кг/т	5,11	7,11	9,11	11,11	13,11	3,45	5,45	7,45	9,45	11,45
Полное сопротивление одного вагона в кг	112	156	200	244	288	248	392	537	680	825
Вес вагонов в т	684	475	358	284	232	1012	620	438	334	265
Число вагонов	31	22	16	13	11	14	9	6	5	4

става для трогания с места нужно учитывать дополнительное удельное сопротивление 4 кг/т веса поезда.

В табл. 5 приведены приближённые расчётные данные для определения веса поезда и числа вагонов для паровоза БП1 при трогании с места на кривой со средним радиусом 350 м. Давление впуска в машину принято равным 6 *ати*. При трогании с места на горизонтальном пути касательную силу тяги получим

$$728 \cdot 6 = 4\,370 \text{ кг},$$

где 728 — величина, зависящая от размеров цилиндра и движущих колёс;

6 — давление пара, впускаемого в машину.

Пример. Определить, может ли паровоз БП1 при давлении впуска в машину 6 *ати* взять с места состав из двух четырёхосных гружёных, четырёх двухосных гружёных и пяти двухосных порожних вагонов.

По табл. 5 находим сопротивление отдельных вагонов и определяем полное сопротивление поезда при трогании с места

$$2 \cdot 680 + 4 \cdot 293 + 5 \cdot 101 = 3\,037 \text{ кг}.$$

В табл. 5 для подъёма 2‰ находим возможную силу тяги на сцепке, равную 3 780 кг. Следовательно, указанный вес состава возможен и для трогания с места при условии, если давление в котле-аккумуляторе будет больше 6 *ати*. При меньших давлениях в котле-аккумуляторе, чем 6—5 *ати*, вес состава следует определять опытным путём из-за отсутствия сколько-нибудь надёжных данных.

Все приведённые величины найдены весьма приближённо по расчётным формулам для магистральных путей, находящихся в хорошем состоянии. Рельсовые пути промышленных предприятий иногда содержатся несколько хуже и сопротивление вагонов при маневровой работе будет существенно выше, поэтому фактически веса составов должны быть ниже, однако за отсутствием расчётных данных учесть влияние этих факторов на величину состава не представляется возможным.

Без мятая пара в регуляторе паровоз БП1 может развивать на короткий период значительно большую силу тяги. Выше указывалось, что при полной зарядке этот паровоз перевозил на расстояние 2—3 км гружёные вагоны общим весом до 1 600—1 700 т.

В табл. 6 приведены приближённые расчётные данные для определения веса поезда и числа вагонов при трогании с места паровозом БП1 при давлении в котле-аккумуляторе 16 *ати*. Касательная сила тяги при трогании с места будет 11 650 кг.

На фиг. 12 дан график для определения числа двухосных вагонов или цистерн при трогании с места в зависимости от величины подъёма и давления в котле-аккумуляторе.

Таблица 5

Данные для определения возможного веса состава и числа вагонов при трогании с места паровозом БП1 при котловом давлении 6 атм и радиусе кривой 350 м

Данные	Порожние					Гружёные				
	Горизонт	$i = 2^\circ / \infty$	$i = 4^\circ / \infty$	$i = 6^\circ / \infty$	$i = 8^\circ / \infty$	Горизонт	$i = 2^\circ / \infty$	$i = 4^\circ / \infty$	$i = 6^\circ / \infty$	$i = 8^\circ / \infty$
Двухосные вагоны										
Полное сопротивление паровоза в кг	475	590	703	817	931	475	590	703	817	931
Удельное сопротивление вагонов в кг/т . .	8,1	10,1	12,1	14,1	16,1	7,77	9,77	11,77	13,77	15,77
Полное сопротивление одного вагона в кг	81	101	121	141	161	233	293	353	413	473
Сила тяги на сцепке в кг . .	3895	3780	3670	3553	3440	3895	3780	3670	3553	3440
Вес вагонов в т	480	374	303	252	214	500	387	312	258	218
Число вагонов .	48	37	30	25	21	17	13	10	9	7
Четырёхосные вагоны										
Удельное сопротивление вагонов в кг/т . .	9,11	11,11	13,11	15,11	17,11	7,45	9,45	11,45	13,45	15,45
Полное сопротивление одного вагона в кг	200	244	288	332	377	536	680	825	970	1110
Вес вагонов в т	427	340	280	237	201	522	400	320	264	222
Число вагонов .	19	15	13	11	9	7	6	5	4	3

Таблица 6

Расчётные данные для определения веса состава и числа вагонов для паровоза БП1 при трогании с места (котловое давление 16 атм, радиус кривой 350 м)

Данные	Порожные				Гружённые					
	Горизонт	$t = 2^\circ /_{\text{‰}}$	$t = 4^\circ /_{\text{‰}}$	$t = 6^\circ /_{\text{‰}}$	$t = 8^\circ /_{\text{‰}}$	Горизонт	$t = 2^\circ /_{\text{‰}}$	$t = 4^\circ /_{\text{‰}}$	$t = 6^\circ /_{\text{‰}}$	$t = 8^\circ /_{\text{‰}}$
Двухосные вагоны										
Удельное сопротивление вагонов в $\text{кг}/\text{м}$. . .	8,1	10,1	12,1	14,1	16,1	7,77	9,77	11,77	13,77	15,77
Полное сопротивление одного вагона в кг . . .	81	101	121	141	161	233	293	353	413	473
Сила тяги на сцепке в кг . . .	11 175	11 060	10 950	10 830	10 720	11 175	11 060	10 950	10 830	10 720
Вес вагонов в т . . .	1 380	1 095	905	770	665	1 440	1 133	930	787	680
Число вагонов . . .	138	110	90	77	66	48	38	31	26	23
Четырёхосные вагоны										
Удельное сопротивление вагонов в $\text{кг}/\text{м}$. . .	9,11	11,11	13,11	15,11	17,11	7,45	9,45	11,45	13,45	15,45
Полное сопротивление одного вагона в кг . . .	200	244	288	332	377	536	680	825	970	1 110
Вес вагонов в т . . .	1 228	977	835	716	627	1 500	1 170	956	805	694
Число вагонов . . .	56	45	38	33	28	21	16	13	11	10

На фиг. 13 дан аналогичный график для четырёхосных вагонов или цистерн.

П р и м е р. Определить число гружёных четырёхосных вагонов для паровоза БП1 при трогании с места на 2‰ подъёме, если давление в котле-аккумуляторе равно 10 атм .

По графику фиг. 13 для гружёных вагонов (по 60 т) при давлении в котле 10 атм на 2‰ подъёме находим, что паровоз БП1 может тронуть с места 10 четырёхосных гружёных вагонов.

Ориентировочное определение числа вагонов следует делать как по графику (фиг. 11) с учётом сопротивления движению при 10 км/час , так и по графикам (фиг. 12 и 13) с учётом добавочного сопротивления при трогании с места.

Из рассмотрения графиков (фиг. 12 и 13) можно заключить, что при давлении в котле-аккумуляторе, близком к максимальному (16 атм), число цистерн следует определять по графику (фиг. 11).

Приведённый весьма приближённый метод определения веса состава и числа вагонов для паровоза БП1 может быть использован и для всякого другого типа бестопочного паровоза.

На фиг. 14 и 15 нанесены графики значений полного сопротивления вагонов, подсчитанных для трогания с места при $R = 350 \text{ м}$ и для различных нагрузок. Пользуясь этими графиками, можно быстро находить полное сопротивление состава из вагонов с различным весом при трогании с места, т. е. решать вопрос, можно ли взять данный состав с места паровозом БП1 при котловом давлении от 16 до 6 атм .

П р и м е р. Определить, возьмёт ли паровоз БП1 с места состав из шести гружёных двухосных цистерн весом по 25 т и 10 гружёных четырёхосных вагонов весом по 60 т каждый на горизонтальном профиле пути при котловом давлении 10 атм и радиусе кривой 350 м .

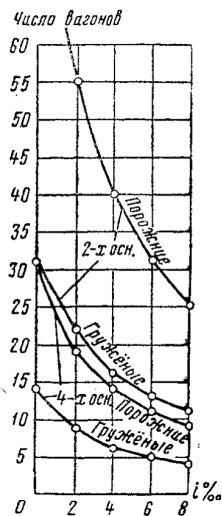
По графику (фиг. 14) находим сопротивление двухосных цистерн весом 25 т при трогании с места равным примерно 195 кг , и по графику (фиг. 15) — сопротивление четырёхосного вагона примерно 460 кг .

Полное сопротивление состава будем иметь

$$6 \cdot 195 + 10 \cdot 460 = 5770 \text{ кг}.$$

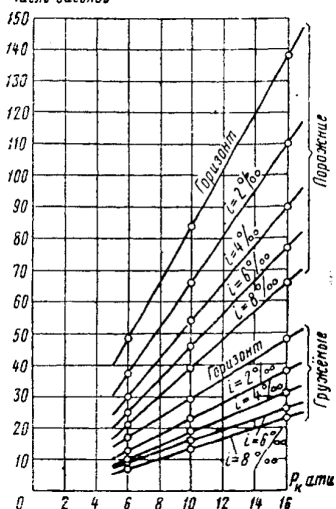
Касательную силу тяги паровоза БП1 при указанном давлении и трогании с места получим

$$728 \cdot 10 = 7280 \text{ кг}.$$



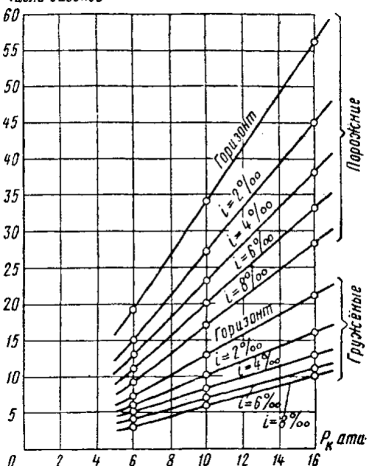
Фиг. 11. График для определения числа вагонов при скорости 10 км/час

Число вагонов



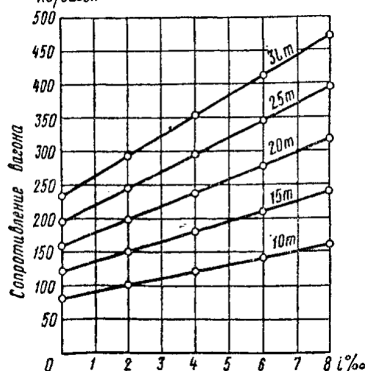
Фиг. 12. График для определения числа двухосных вагонов при трогании с места

Число вагонов



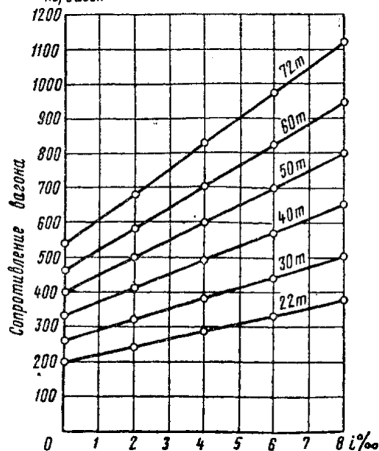
Фиг. 13. График для определения числа четырехосных вагонов при трогании с места

Кс/вагон



Фиг. 14. График для определения сопротивления движению двухосного вагона при трогании с места

Кс/вагон



Фиг. 15. График для определения сопротивления движению четырехосного вагона при трогании с места

Полное сопротивление паровоза БП1 на горизонтальном пути при $R = 350$ м по табл. 5 находим 475 кг. Силу тяги на крюке находим равной

$$7\,280 - 475 = 6\,805 \text{ кг.}$$

Из сопоставления силы тяги на крюке и полного сопротивления состава находим, что трогание с места указанного состава вполне возможно.

10. УПРАВЛЕНИЕ БЕСТОПОЧНЫМ ПАРОВОЗОМ БП1 И ЕГО ОБСЛУЖИВАНИЕ

Управление бестопочным паровозом намного проще, чем обычным огневым паровозом. Так как паровозы БП1 построены на базе широко известного промышленного паровоза 9П, то здесь указаны только особенности в управлении паровозом БП1, его обслуживании и уходе за ним, отличные для паровозов 9П.

Характерной особенностью маневровой работы паровоза БП1 является возможность обслуживания его одним лицом — машинистом. Однако по условиям передачи сигналов при работе на манёврах могут быть назначены два лица — машинист и помощник или машинист и сигналист.

Управление паровозом БП1 производится теми же приборами, что и у обычного огневого паровоза. На правой стороне котла-аккумулятора укреплен рычаг привода клапанного регулятора для регулирования поступающего в машину пара.

Для реверсирования хода и изменения отсечки пара, поступающего в паровые цилиндры, там же справа поставлен нормальный ручной винтовой реверс с планкой-указателем отсечек пара на передний и задний ход.

Переднему ходу паровоза БП1 соответствует заднее положение гайки реверса. Причиной такого изменения обычной конструкции реверса является наличие на его уровне главного воздушного резервуара, поэтому в систему передачи от винта реверса к кулисе введён двуплечий рычаг.

Величина открытия регулятора на паровозе БП1 является ещё более важной для экономичности, чем на огневом паровозе.

Учитывая постепенное уменьшение котлового давления, для поддержания равномерной скорости движения на длинных участках следования и при большом весе вагонов целесообразно открытие регулятора иметь таким, чтобы давление пара при выпуске в цилиндр было по возможности не меньше 6—7 *атм.*

Известно, что мятие пара в регуляторе не наносит существенного ущерба экономичности расходования пара, если давление выпуска будет не меньшим указанных величин. Понятно, что это указание не относится к таким периодам работы, когда давление в самом котле-аккумуляторе становится более низким, чем 6—7 *атм.*

При трогании с места реверс необходимо перевести до конца хода гайки, затем дав сигнал, открыть регулятор и, далее, сообразуясь с весом прицепленных вагонов, менять открытие регулятора и степень наполнения (отсечку).

Во избежание появления искр при боксовании, недопустимом на взрыво- и огнеопасных предприятиях, регулятор следует открывать особенно плавно. При манёврах заездами, проводя состав за нужную стрелку, машинист должен правильно рассчитать, где закрыть регулятор, чтобы состав прошёл некоторый путь по инерции. На этом принципе использования инерции (живой силы) машинист бестопочного паровоза экономит запас тепла в котле-аккумуляторе, что даёт возможность делать более редкие зарядки котла-аккумулятора.

Во время езды, после того как уже достигнута необходимая скорость, следует уменьшать отсечку для более экономного расходования пара.

На стоянке цилиндры продувательные краны следует держать открытыми, а реверс устанавливать на центр, т. е. в среднее положение.

Содержание бестопочного паровоза

Машинист паровоза должен тщательно следить за исправностью изоляции котла-аккумулятора и цилиндров, а также заботиться о её восстановлении при осмотрах и ремонтах.

Большое значение имеет своевременное обнаружение и устранение неплотностей в арматуре, в соединениях трубопроводов, кранов, клапанов, в сальниках поршневых штоков и т. п. Все утечки пара в этих местах сокращают рабочий период между зарядками котла-аккумулятора.

Если лопнет водомерное стекло, то после перекрытия его кранов можно продолжать работу, проверяя уровень воды в котле по водопробным краникам. Заменять же лопнувшее стекло новым надо во время очередной зарядки или при перерыве работы.

Работа паро-воздушного насоса требует относительно большого количества пара. Поэтому при небольшом количестве перемещаемых вагонов в менее огнеопасных местах можно выключать подвод пара к паро-воздушному насосу, не пользоваться пневматическим тормозом и применять ручное торможение или контрпар.

Опытный машинист при надлежащем состоянии изоляции не допустит замораживания узлов и деталей даже в самые сильные морозы. Если всё же замораживание произошло, то необходимо отогревать соответствующие части паром или горячей водой. Только в огне-взрывобезопасных местах допускается отогревание открытым огнём.

Всякое отогревание целесообразно приурочить ко времени очередной заправки котла-аккумулятора, если нет угрозы повреждения замороженных частей.

Спускная труба котла замораживается при неплотности пробки спускного крана, когда просачивающаяся вода, медленно стекая, замёрзнет и лед постепенно заполнит всё сечение трубы.

Для предупреждения замораживания спускной трубы нужно поддерживать в исправном состоянии утепление спускного крана и при контрольно-технических осмотрах устранять его неплотности.

В случае длительной стоянки паровоза при сильном морозе возможно замерзание воды в паровых цилиндрах, что при последующем трогании с места может привести к изгибу штока, ведущего дышла, излому пальцев и т. п. Чтобы избежать этого, надо при трогании с места открыть продувательные клапаны и открывать регулятор медленно. Приводить паровоз в движение можно только после того, как из продувательных клапанов покажется пар.

В сильные морозы большое внимание должно уделяться пресс-маслёнке. Недостаточный прогрев её и маслопроводов приводит к поломке нагнетающих поршеньков. Возможно при этом замораживание и самого корпуса маслёнки. Поэтому машинист паровоза должен в зимнее время особенно внимательно следить за работой и состоянием пресс-маслёнки и маслопроводов. Из прогревательной трубки должен выходить пар, а не вода. Перед началом движения надо прокручивать вал пресс-маслёнки вручную. Температуру подогрева нужно держать в интервале 40—50°, т. е. такой, которую выдерживает прикасающаяся к корпусу маслёнки рука.

Электроосвещение бестопочного паровоза БП1 и уход за ним

Паровозы БП1 имеют взрывобезопасную систему электрического освещения от аккумуляторов.

В будке паровоза в специальном батарейном ящике установлены три аккумуляторные батареи, включаемые в сеть последовательно; номинальное напряжение в осветительной сети 36 в.

Аккумуляторные батареи — щелочные, кадмиево-никелевые, типа 10 НКН-45 ГОСТ 3894—47; напряжение — 12 в, общая номинальная ёмкость трёх аккумуляторных батарей — 45 а-ч.

Каждый паровоз БП1 имеет запасный комплект батарей, что обеспечивает перезарядку без перерыва работы.

Расходовать электроэнергию аккумуляторных батарей следует возможно более экономно, так как выемка, зарядка и обратная установка батарей требуют значительного простоя паровоза.

Уход за аккумуляторами, их эксплуатация и хранение должны производиться согласно инструкции по уходу за щелочными, кадмиево-никелевыми аккумуляторами.

На паровозе установлены пять световых точек: четыре буферных фонаря (фары) и потолочный фонарь в будке. Фары и штепсельные соединения взрывобезопасны.

Перед началом работы бестопочного паровоза все приборы и узлы электроосветительной системы должны быть закрыты и опломбированы.

При эксплуатации электроосвещения необходимо обращать внимание на:

а) исправность и отсутствие механических повреждений труб и резиновых переходных трубок и фар;

б) исправность выключателей фар (смонтированных непосредственно в фарах);

в) наличие пломб на приборах и узлах электроосветительной системы.

При отсутствии напряжения в фарах, наличии повреждений фар и проводки или бездействия одной из фар бестопочный паровоз должен быть немедленно выведен из взрывоопасной зоны для производства проверки и ремонта. Во время замены аккумуляторных батарей следует обращать особое внимание на плотность контактов вводов и межэлементных соединений.

К а т е г о р и ч е с к и з а п р е щ а е т с я открывать и ремонтировать элементы электроосвещения, а также производить замену аккумуляторных батарей при работе паровоза БП1 во взрыво- и огнеопасных местах.

Для смены аккумуляторных батарей необходимо вывести паровоз из взрывоопасной зоны, выключить все световые точки, распломбировать батарейный ящик и вскрыть его, выключить верхний минусовый и нижний плюсовый штепсели, выключить соединительные штепсели и вынуть из ящика батареи. Новые батареи устанавливают в обратном порядке.

Зарядка и экипировка бестопочного паровоза

Для зарядки паровоза БП1 паром на территории предприятия должен быть один или несколько зарядных пунктов.

На фиг. 16 показана схема одного из видов зарядных устройств.

Пар от стационарного котла проходит последовательно паропровод 1, запорный вентиль 2, переходное колено 3, шарнирное соединение 4, зарядную трубу 5 и через зарядный клапан паровоза 8 попадает в котёл-аккумулятор. Для соединения трубы 5 с зарядным клапаном 8 служит накидная гайка 6. Всё зарядное устройство опирается на кронштейн 9. Для уменьшения деформаций в зарядной системе трубу 5 подвешивают тросом 7. Вместо обычной трубы для горизонтальной части зарядного устройства может быть применён достаточно прочный гибкий рукав.

На фиг. 17 показан общий вид зарядки бестопочного паровоза.

При постановке паровоза под зарядку необходимо:

установить его точно на место, отмеченное указателем, и огрaдить красными сигналами;

затормозить паровоз ручным тормозом или подложить под колёса тормозные башмаки;

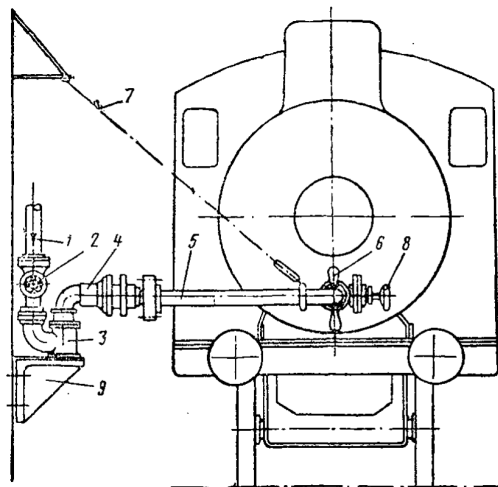
установить реверс на центре;

открыть продувательные краны цилиндров.

Во время всего периода зарядки машинист не должен оставлять паровоз и систему зарядки без наблюдения.

Путь, выделенный для зарядки бестопочных паровозов, должен быть горизонтальным. Перед зарядкой необходимо убедиться в надёжности и плотности присоединения трубопровода. Открытие вентилей производится в следующем порядке: сначала открывается зарядный клапан на паровозе, а затем вентиль на паропроводе. После окончания зарядки сначала закрывают вентиль на паропроводе, а затем уже зарядный клапан. Открытие и закрытие вентилей должно производиться плавно.

При зарядке холодного паровоза необходимо сначала открыть вентиль выпуска пара, имеющийся на крышке регулятора, и держать его открытым до появления пара. Это необходимо сделать



Фиг. 16. Схема зарядного устройства

для удаления воздуха из котла-аккумулятора. Зарядка порожнего котла-аккумулятора производится сначала холодной водой, наливаемой приблизительно до уровня нижнего водопробного краника, т. е. до 60 — 70% общего объема, а затем паром до рабочего давления.

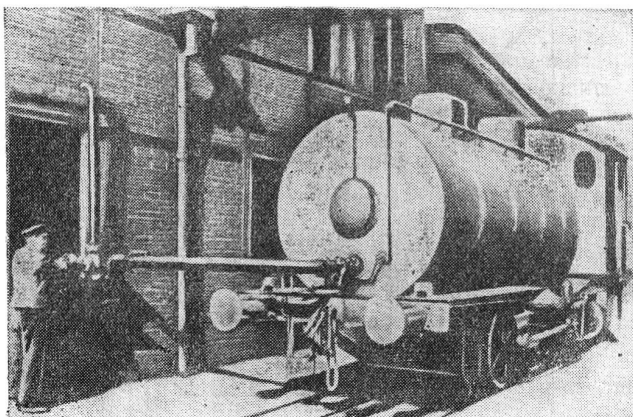
Прекращать работу и следовать к пункту зарядки паром надо при давлении в котле-аккумуляторе не менее 2 *ати*. Эта цифра является примерной и выбор её зависит от расстояния до зарядного пункта. При более низком давлении в котле-аккумуляторе для трогания паровоза с места следует применять буксовый лом. После провёртывания колёс на $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ оборота паровоз без вагонов может перемещаться на площадке и при давлении в котле-аккумуляторе около 1 *ати*.

Обычно от разрядки к разрядке уровень воды в котле-аккумуляторе повышается, поэтому открытием спускного крана прихо-

дится выпускать из нижней части котла избыток воды, с которой удаляются возможные грязь и шлам. Запрещается делать спуск излишней воды во время езды и при зарядке. Целесообразно спускать воду перед зарядкой и по возможности использовать её.

Передачу дежурства одним машинистом другому следует совмещать с зарядкой.

Во время простоя на зарядке нужно произвести осмотр паровоза, устранить все обнаруженные неисправности, протереть и смазать трущиеся части движущего и парораспределительного механизмов, укрепить подшипники дышлового механизма и проверить состояние экипажа.



Фиг. 17. Общий вид зарядки бестопочного паровоза

Около зарядных пунктов должны быть размещены и пескоснабжающие устройства, кладовая и раздаточная смазочного и обтирочного материалов. Всю экипировку паровоза надо сосредоточивать около зарядных устройств.

Машинисту следует учитывать, что исправное состояние песочницы даёт возможность полностью исключить боксование паровоза, что для взрыво- и огнеопасных производств, где работают бестопочные паровозы, является исключительно важным.

Для улучшения работы и облегчения обслуживания бестопочных паровозов БПЦ целесообразно осуществить некоторые изменения конструкции:

- 1) парорабочие трубы вынести вне котла и снабдить отдельными кожухами с изоляцией. Это даст возможность удобнее устранять утечку пара в соединениях;

- 2) для большей безопасности дополнительно поставить по 1 запорному клапану на боковых зарядных трубах;

3) поставить раздвижные золотники Трофимова, обеспечивающие значительно меньшее сопротивление движению при закрытом регуляторе;

4) с обеих сторон котла-аккумулятора поставить площадки для обслуживания регуляторного клапана с приводом и песочницы;

5) изменить конструкцию реверса так, чтобы переднему ходу паровоза соответствовало бы переднее положение гайки реверса;

6) поставить на золотниковой коробке дистанционный манометр, показания которого должны передаваться в будку машиниста. Это позволит применять при работе более выгодные открытия регулятора;

7) для уменьшения расхода пара на свисток следует заменить его более экономичным свистком или тифоном.

11. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

На основании приведённого выше материала можно указать на следующие основные достоинства бестопочных паровозов:

полная огне- и взрывобезопасность, в то время как все другие типы локомотивов в той или иной степени могут быть причиной пожара или взрыва;

простота управления и обслуживания;

постоянная готовность к работе заряженного паровоза (нет пускового периода, как, например, у тепловоза);

малая начальная стоимость по сравнению с обычным паровозом;

малая стоимость эксплуатационных расходов: зарплат, стоимости экипировки и т. д.;

малые расходы на ремонт и небольшие простои при нём (ремонтные работы по котлу полностью отпадают);

при снабжении паром от центральной котельной используется топливо менее высокого качества, чем это нужно для обычного паровоза;

тепловая экономичность бестопочных паровозов при маневровой работе выше, чем у существующих паровозов обычного типа;

при условии увеличения давления в котлах бестопочных паровозов и применения для них легированной стали запас мощности и экономичность могут быть значительно повышены.

В итоге следует признать, что бестопочные паровозы могут быть основным средством внутризаводского транспорта на предприятиях нефтяной, химической, деревообделочной, бумажной и других видов промышленности.

Применение бестопочных паровозов вполне рентабельно для предприятий любой отрасли промышленности, имеющих мощное паросиловое хозяйство, в частности для паротурбинных электростанций, текстильных фабрик и т. п.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие сведения об устройстве и принципе действия бестопочных паровозов	3
2. Общие понятия об аккумуляровании тепловой энергии	8
3. Бестопочный паровоз типа БП1	12
4. Расчётные данные процессов зарядки и разрядки котла-аккумулятора	15
5. Определение наиболее выгодного давления зарядки в котле-аккумуляторе	18
6. Запас энергии в бестопочном паровозе типа БП1	19
7. Применение пароперегревателя в бестопочных паровозах высокого давления	22
8. Оценка экономичности бестопочного паровоза	23
9. Определение возможного веса поезда и числа вагонов для бестопочного паровоза БП1	25
10. Управление бестопочным паровозом БП1 и его обслуживание . .	33
11. Основные выводы	39

Сергей Николаевич Григорьев

Бестопочные паровозы

Обложка художника А. А. Медведева

Технический редактор Г. П. Верина

Корректор А. И. Левина

Сдано в набор 6/IV 1956 г.

Подписано к печати 22/V 1956 г.

Формат бумаги 60×92¹/₁₆. Печатных листов 2,5. Бумажных листов 1,25.

Учётно-изд. листов 2,7. Тираж 3000. Т 04572. ЖДИЗ 14748. Заказ тип. 391

Цена 1 р. 35 к.

«ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ» Москва, Басманный туп., 6а

1-я типография Трансжелдориздата МПС. Москва, Б. Переяславская, 46.

1 р. 35 к.

