

О ВОЗРАЖЕНИЯХ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ВЫХЛОПНОГО ПАРА ПАРОВОЗОВ*

И. Н. БУТАКОВ

Напечатанию статьи предшествовала длительная дискуссия в порядке переписки с органами МПС и отдельными лицами, причем был выдвинут ряд соображений. Так, проф.-доктор Белоконов Н. И. в своем первом заключении писал: „Прицепка цистерн с холодной водой к паровозам для нагрева этой воды мятым паром с последующим использованием полученной горячей воды в низкотемпературном энергетическом цикле—такая схема возможна, однако возможность получения при этом экономии топлива сомнительна“. Надо заметить, что в 1943 г. речь шла не о тендерах большой емкости—90—100 куб. метров, а о прицепке цистерн к существующим тендерам. Для доказательства сомнительности экономии топлива в случае прицепки цистерны-аккумулятора проф. Белоконов строит сначала формулу, долженствующую определить месячную экономию 7000 кал топлива на электростанции при переходе к низкотемпературному циклу без учета теплофикационных нагрузок:

$$\Delta B_1 = 24 \cdot 30 \cdot N_{cm} \left(\frac{860}{7000 \cdot \eta_{W}^{cm}} - \frac{Gm + G_0}{G} \cdot \frac{L \cdot 10^{-4}}{W_c} \cdot \frac{b_n}{\eta_k^{par}} \right) \cdot 10^{-3} \text{ т/мес.} \quad (1)$$

Здесь средняя нагрузка электростанции $N_{cm} = 300 \text{ кВт}$, η_{W}^{cm} — полный к.п.д. деповской электростанции обычного типа = 0,12, G_m — средний вес воды в цистерне-аккумуляторе = 47 т.

$\bar{G}$ — вес горячей воды в цистерне-аккумуляторе = 50 т,

G — тара цистерны с учетом спецоборудования = 23 т,

L — расчетный пробег цистерны-аккумулятора = 130 км,

W_c — удельная выработка электроэнергии в низкотемпературном энергетическом цикле на 1 т горячей воды = $720/200 = 3,6 \text{ кВтч/т}$, $b_n = b_{ткм} = 250 \text{ кг/10}^4 \text{ ткм}$, $\eta_k^{par} = 0,6$ — к.п.д. паровозного котла.

Вставляя в формулу (1) вышеуказанные значения, проф. Белоконов получил $\Delta B_1 = -200 \text{ т/мес}$, т. е. перерасход топлива.

В приведенном расчете были допущены некоторые неправильности, а именно, уменьшаемое взято для парадного хода: его надо для приближения к эксплуатационным условиям увеличить в 1,2—3 раза (хозяйственный коэффициент), а $\eta_k^{par} = 1$, так как $250 \text{ кг/10}^4 \text{ ткм}$ измеритель следует брать лишь для поездной работы паровоза, когда удельный расход условного топлива получается и без $\eta_k^{par} = 0,6$ преувеличенным.

$$b_n = 250 = \frac{2600 \cdot b_e \cdot 0,8 \cdot 130 \cdot 10^4}{60 \cdot 2000 \cdot 130} \text{ кг/10}^4 \text{ ткм.}$$

Здесь $0,8 \cdot 130/60$ — время работы паровоза под паром (см. мою статью); 2000 — вес поезда в т, 2600 — мощность паровоза в л. с., откуда $b_e =$

* Вестник инженеров и техников, 1947 г., № 7.

$= 1,45 \text{ кг/л.с.ч.}$, в то время как для паровоза ФД — $b_e = 1,3 \text{ кг/л.с.ч.}$, а при наличии подогрева питательной воды для паровоза CO_k даже — $b_e = 1,1 \text{ кг/л.с.ч.}$ ¹⁾. Отсюда следует, что нет надобности вводить $\eta_k^{пар} = 0,6$.

При зимнем режиме без агротеплофикации формула проф. Белоконь получает вид с подстановкой исправлений:

$$\Delta B_2 = 720 \cdot N_{cm} \left(\frac{860}{7000} \cdot \frac{1,3}{\eta_{W}^{cm}} + \frac{\varphi \cdot \Delta t \cdot 10^3}{N_{cm}/200 \cdot 7000 \cdot \eta_k^{cm}} - \frac{G_0 + Gm}{G} \cdot \frac{L \cdot 10^{-4}}{W_c} \right) \cdot 10^{-3} \text{ т/мес.}$$

По внесении указанных исправлений расчет приведет проф. Белоконь к общей экономии условного топлива за год, в то время как по прежнему подсчету у него экономия была равна нулю. Эта экономия получается при условии, если относить расход топлива по передвижению цистерны за счет комбинированной выработки энергии, за счет низкотемпературного энергетического цикла. Между тем, как показано в нашей статье, прицепка цистерн-аккумуляторов (правильнее применение более емких тендеров-аккумуляторов) вызвана необходимостью улучшения условий эксплуатации²⁾, почему расход топлива по перемещению дополнительного количества воды надо относить за счет общих интересов эксплуатации ж. д., а крупная экономия топлива от предлагаемого производства энергии должна явиться чистой экономией.

Получив таким образом должный ответ на свое первое заключение, проф. Белоконь Н. И. выступил со вторым заключением, заявив: „Мы рассмотрим идею использования горячей воды цистерн-аккумуляторов на самой широкой основе“. Очевидно, говорится в новом заключении, для подогрева воды 50 т в цистерне-аккумуляторе должно быть отведено в нее количество мятого пара $50 \cdot 10^3 \cdot \frac{100 - 10}{650 - 100} = 8000 \text{ кг}$. Для сох-

ранения мощности дымовытяжного устройства паровоза на прежнем уровне необходимо $8000 \cdot \frac{1,5 \cdot 0,4 \cdot 10^4}{270 \cdot 10^3} = 180 \text{ л.с.ч.}$

Соответственный расход условного топлива при удельном расходе нормального пара 8 кг/л.с.ч. : $\frac{8 \cdot 180}{7000/640} = 131 \text{ кг}$.

Расход условного топлива на перемещение цистерны-аккумулятора $250/50 + 23/130 \cdot 10^{-4} = 238 \text{ кг}$, а полный расход топлива $131 + 238 = 369 \text{ кг}$, что соответствует расходу натурального 7000 кал топлива при к.п.д. 0,6 котла $B = 369/0,6 = 615 \text{ кг}$.

Принимая далее за „наиболее общую формулу“ решения вопроса применение холодильного цикла (термокомпрессии), проф. Белоконь доказывает, что последний процесс выгоднее, чем нагрев воды в цистерне мятым

¹⁾ По данным НИИЖТ расход условного топлива на 10^4 ткм брутто в зависимости от веса поезда для паровозов сер. ФД:

Вес поезда в т —	2000	1800	1600	1400
расход топлива в кг —	154	164	176	190

²⁾ Среди ж.-д. деятелей за последние годы появляются все новые и новые сторонники необходимости перехода к более емким тендерам; среди них, например, академик Образцов В. Н. (см. Известия АН СССР, отд. техн. наук, 1947 г. № 10, стр. 1401).

См. также „Техника ж. д.“, 1948, № 1, стр. 25.

паром паровоза. В самом деле, количество тепла, которое может быть получено в холодильной установке

$$Q = \frac{T_1}{\Delta T} \cdot \eta_2 \cdot AL = \frac{T_1}{\Delta T} \cdot \eta_2 \cdot \eta_1 \cdot B \cdot 7000 = \frac{368,2}{60} \cdot 0,7 \cdot 0,2 \cdot 615 \cdot 7000 =$$

$= 3,7 \cdot 10^6$ кал, что дает возможность нагреть воды $3,7 \cdot 10^6 \cdot 10^3 (95-35) = 62 \text{ т} > 50 \text{ т}$, причем использование теплой воды ниже 35°C может быть без затруднений осуществлено на всех ТЭС без всяких цистерн-аккумуляторов. Таким образом, заключает проф. Белокоп, убыточность прицепки цистерн аккумуляторов к паровозам для подогрева мятым паром совершенно очевидна, как бы целесообразно ни было последующее использование горячей воды.

Это новое заключение проф. Белокоп страдает рядом неустраняемых паралогизмов, а именно:

1. Никто не предполагал расходовать на дымососы острый пар, когда для этого можно использовать и мятый по примеру паровозов CO_k , направив его после дымососа в аккумуляторы, так что слагаемое 131 кг выпадает совершенно.

2. Как мы видели выше, нет надобности делить 238 кг на 0,6 к.п.д. паровозного котла, ибо речь идет о поездном расходе топлива, когда норму $250 \text{ кг}/10^4 \text{ ткм}$ надо и без того считать преувеличенной. Если учесть эти два замечания, то термокомпрессией удастся нагреть в условиях, указанных проф. Белокоп, не более 25 т воды, т. е. в два раза менее, чем мятым паром, что понятно а priori каждому теплотехнику, поскольку термокомпрессию приходится здесь реализовать в таком большом интервале температур, как 60°C .

3. К. п. д. ТЭС принят в заключении $\eta_2 = 0,2$, а это допустимо лишь в случае подачи тока от районной ТЭС, в то время как рядовые депо-ские станции имеют максимум $\eta_2 = 0,1-0,12$. В обратных же депо нередко ТЭС отсутствуют совсем, так что термокомпрессию вообще осуществить затруднительно.

4. Не учтено, что в случае прицепки цистерны вода мятым паром будет нагреваться и в тендере, превращаемом тоже в аккумулятор. Перемещение тендера автор заключения, конечно, не помыслит уже ставить в счет низкотемпературному циклу. Заметим, что нагрев воды в тендере термокомпрессией потребовал бы дополнительного расхода энергии, что проф. Белокоп не принял во внимание.

5. Как указано в нашей статье, прицепка цистерны (лучше переход к более емким тендерам 90—100 куб. м) диктуется интересами эксплуатации, почему и расход топлива на перемещение добавочного количества воды надлежит относить за счет интересов эксплуатации, а не за счет низкотемпературного энергетического цикла.

6. Циркуляционная вода из конденсаторов ТЭС, имея расчетную температуру на входе 15°C , на выходе обычно имеет 25°C , а зимою значительно ниже, так что такая вода для почвенного обогрева культивационных помещений мало полезна, учет какового обстоятельства еще более снизил бы эффект термокомпрессии.

Из сказанного видно, какова цена заключений проф. Белокоп Н. И.

Переходим теперь к рассмотрению других поступивших возражений.

Указывалось, что получение энергии в утилизационных турбинах является обусловленным количеством и температурой воды, поступающей в их испарители, в то время как потребность в кВтч зависит от потребителей и может совершенно не совпадать с их выработкой. Но это возражение характерно для всех случаев, когда имеется выработка электроэнергии на тепловом потреблении. В этих случаях обязательной является

дополнительная конденсационная установка, обеспечивающая покрытие недостающей мощности. Такие установки имеются во многих депо, а некоторые депо получают ток от энергосистемы. Собственные установки депо попадут в лучшие условия работы, поскольку будет обеспечена возможность получения дистиллята для питания их котлов из конденсаторов утилизационных турбин.

Указывалось далее и на то, что гораздо выгоднее с точки зрения расхода топлива получить ток на деповскую территорию от какой-либо внешней (районной) электростанции, чем организовывать предлагаемое использование низко-температурного цикла. Рассмотрим и это возражение. К.п.д. даже лучших наших районных электростанций (ШГЭС, ЧГРЭС, Каширская и пр.) не превосходит 23%, так что, оценивая потери в сетях и собственные нужды станции, найдем к.п.д. на месте потребления около 20%¹⁾. Считая среднюю годовую мощность утилизационной установки 300 квт, получим часовой расход топлива $300 \times 860 / 0,2 \times 7000 \times 10^3 = 0,185 \text{ т}$. Кроме того тепловые потребители возьмут $8,5 \times 10^6 / 0,5 \times 7000 \times 10^3 = 2,43 \text{ т}$, а всего 2,61 т/ч, что при 8760 годовых часах работы дает экономию условного топлива около 23000 т. Возражающие здесь (а это электрики) имеют в виду, главным образом, электроэнергию, забывая о тепловых потребителях, которые и являются главными расходчиками топлива, не говоря уже о том, что тут игнорируется совершенно экономия топлива от безостановочного следования поездов, от применения водоочистки и на водокачках, экономия топлива, обусловленная применением более емких тендеров.

Некоторые из возражающих недоумевали, каким образом может происходить регулирование подачи тепла абонентам при изменении температуры наружного воздуха. Конечно, в данном случае регулирование возможно только количественное, так как температура воды в подземных резервуарах остается постоянной 90—95°C. Считая, что скорость воды в трубах может изменяться от 0,5 до 2,5 м/сек, мы можем количество подаваемого тепла изменять в пять раз. При дальнейшем уменьшении потребности в тепле надо переходить на регулировку пропусками. Получающиеся при указанных регулировках избытки воды при температуре 90—95°C должны быть направлены в часть более высокого давления утилизационных турбин для увеличения выработки электроэнергии. Отсюда следует, что ввиду переменного количества воды, поступающего к утилизационным турбинам, последние не должны устанавливаться на полную мощность (500 квт) в едином агрегате, а полная мощность должна быть разбита между турбинами меньшей мощности, включаемыми по мере надобности. Вопрос о стандартизации мощности утилизационных турбин — вопрос особый, нуждающийся в дополнительном исследовании.

Неубедительным кажется также и указание на излишнюю сложность цепи использования тепла выхлопного пара паровозов. Все звенья этой цепи и стационарной ее части являются испытанными предыдущей практикой. Так, отопительные водяные сети в СССР имеют многолетнюю уже давность, и в данном случае ничего специфического в них нет; утилизационные вакуумные турбины проверены практикой²⁾; почвенный обогрев в теплицах с применением гончарных труб проверен в наших условиях.³⁾ Тре-

¹⁾ Средне-взвешенный к.п.д. нетто основных электрических систем (конденсационных и теплофикационных) составил у нас по отчетным данным от 15 до 21%. Экономия электроэнергии в промышленности, 1947 г. гл. 1, (В. И. Вейц), стр. 15.

²⁾ Предварительные наши проектировки показали, что утилизационные вакуумные турбины в данном случае просты по конструкции, будут иметь один—два облопаченных диска и могут, надо думать, изготавливаться на тех же заводах, где производятся дымососы и осветительные турбины, применяемые сейчас на наших паровозах.

³⁾ Ибряев И. М. Возможности агротеплофикации. Тепло и сила, 1936, № 5.

буется только компенсировать возможный асинхронизм между приходом поездов с тепловыми аккумуляторами и потреблением горячей воды из подземных резервуаров, которые должны проектироваться как компенсирующая промежуточная емкость. Если проследить за прогрессом современной промышленности, мы везде увидим удлинение цепей использования первичных сырых материалов. Как видно из нашей статьи, предварительные экономические расчеты оправдывают возможность капиталовложений, с избытком достаточных для производства необходимых работ. В т. III (стр. 20) учебника „Теплосиловое хозяйство ж.-д. транспорта“ совершенно правильно записано: „В условиях ж.-д. транспорта теплофикация должна получить широкое распространение“. Ряд ж.-д. авторов мечтает установить в пятилетку 1946—1950 гг. на деповских станциях турбины с противодавлением 200—300 *квт* с широким развитием централизованного теплоснабжения ж.-д. узлов. Таким образом вопрос о тепловых сетях для деповских станций вполне созрел, и такие сети рано или поздно все равно придется прокладывать. Затруднения с трубами скоро будут изжиты, так как уже в 1950 г. выпуск их предусмотрен в количестве 1,5 *млн. т*. Огороды под стеклом тоже надо будет строить для обеспечения армии железнодорожников и близлежащих населенных пунктов свежими овощами круглый год, причем трудности из-за отсутствия стекла быстро минуют, так как в 1950 г. производство стекла возрастет в 1,8 раза против 1940 г. Все это может протекать в порядке любой постепенности, в течение любого ряда лет по определенному плану.

Высказана была и еще та мысль, что прицепка цистерны или введение тендеров большой емкости заставят уменьшить вес поездов. Но, как правило, мощность паровозов не используется полностью и многолетний опыт показал, что увеличение количества перевозимой воды на весе составов не отразилось¹⁾.

В качестве возражения выдвигалось и то, что потребуется усиление мощности водоснабжения на деповских станциях.

Поскольку в пути следования будет расходоваться, как показывают приведенные в статье расчеты, около половины запаса воды в аккумуляторах, а другая половина, совершив свой цикл использования низкотемпературного тепла в пределах деповских территорий, будет возвращаться с возможностью заполнения ею вновь аккумуляторов, на деповской станции будет расходоваться воды столько же, как и теперь для заполнения тендеров, т. е., повидимому, никакого усиления водоснабжения потребоваться не должно²⁾. Не потребуются, надо думать, также и развития тракционных путей и зданий депо, так как увеличение участковых скоростей и введение химводоочистки сильно улучшит оборот паровозов, так что обслуживание движения станет возможным меньшим их числом, что должно освободить часть имеющихся площадей в депо. Веерные де-

1) Подвижной состав ж.-д. США. Москва. Транс. ж.-д. издат, 1941 г. стр. 85. Из доклада проф. Н. И. Николаева в НТС видно, что на наиболее напряженных направлениях сцепной вес паровозов недоиспользуется, а форсировка котлов снижается до 20—30 *кг/м²/час*. Ж.-д. транспорт, 1947 г., № 1, стр. 37.

Об отсутствии полного использования силы тяги паровозов свидетельствует также статья „Обеспечить новый подъем работы транспорта в 1949 г.“ в журнале „Ж.-д. транспорт“, 1949, № 1, стр. 9, где правильно отмечено, что „лучшим подтверждением имеющихся резервов в области увеличения веса поезда является движение машинистов-тяжеловесников“.

В предвоенный период среднее использование подъемной силы вагонного парка на наших ж. д. составляло всего 77,5%, т. е. в среднем на 22,5% недоиспользовалась подъемная сила вагона. Резервы ж.-д. транспорта. Трансжелдориздат, 1946, стр. 20.

2) Введение более водоемких тендеров дало бы возможность не думать о крупных капиталовложениях для работ по усилению водоснабжения на промежуточных станциях в целях ускорения набора воды паровозами и сокращения стоянок, о чем пишет, например, Гончаров С. Ф. (Техника ж. д., 1948, № 8, стр. 5).

по, конечно, могут потребовать реконструкции, как и поворотные круги там, где нет треугольников. Но это неизбежно, к сожалению, при всех условиях по мере увеличения мощности паровозов, и за период существования ж.-д. транспорта у нас такая реконструкция не раз уже выполнялась.

Некоторые отмечали, что слив воды из более емких тендеров, их наполнение водою может увеличить время нахождения паровозов под экипировкой, что отразится на их обороте. Между тем нельзя отрицать того, что этого можно избежать путем совмещения фаз экипировочных операций, спроектировав соответственным образом экипировочное устройство, в большинстве случаев до сих пор страдающее от отсутствия продуманности.

Затем имелись возражения, что питательная вода из аккумуляторов будет содержать смазку, что вредно для паровозных котлов. Но, во-первых, смазка будет находиться в большей массе воды, чем это имеет место сейчас в конденсаторах паровозов СО_к, почему условия окажутся здесь более благоприятными, чем в этих последних паровозах, во-вторых, практика использования отработавшего пара молотов в стационарных установках показала целесообразность применения абсорбента типа гидрата окиси алюминия $Al(OH)_3$ для освобождения от остатков смазки после механических маслоотделителей.

Еще одно возражение, что подвод пара к аккумуляторам требует гибких соединений, мало надежных в эксплуатации, что для избежания охлаждения воды в аккумуляторах во время пути и на стоянках надо будет принимать особые меры. Но в случае прицепки одной цистерны к паровозу или применения более емкого тендера, чем больше вода будет охлаждаться в этих аккумуляторах, тем лучше: меньше пара уйдет в конус и больше нагретой воды будет доставлено в депо. Гибкие соединения сконструировать не представляет никаких трудностей, поскольку давление выхлопного пара низкое. Отцепки, прицепки и присоединения к выхлопной трубе каждый раз не потребуются, так как паровоз-тендер, как единое целое, должен подаваться к экипировочным устройствам и в депо.

Наконец, было и то возражение на одном из докладов автора со стороны профессора-угольщика, что не следовало бы заниматься паровозом, поскольку железные дороги будут электрофицироваться. Пришлось ему напомнить, что паровоз остается основным двигателем на ж.-д. транспорте, что годовой выпуск паровозов заводами в СССР 1950 г. доводится до 2200, в то время как электровозов всего до 220.¹⁾ Ведь занимается же он щитами при добыче угля, вместо того, чтобы заниматься подземной газификацией углей. Развитие советской энергетики решениями СНК в 1927 г., ЦК ВКП(б) в 1931 г., XVIII съезда ВКП(б) в 1939 г. направлено по пути широкого внедрения теплофикации, причем XVIII съезд ВКП(б) потребовал решительной борьбы с гигантоманией и широкого перехода к строительству небольших и средних тепловых электростанций в 25 мвт и ниже, осудив, как неправильное и вредное для народного хозяйства, увлечение крупными электростанциями. В этом аспекте применение паровоза, как передвижной паросиловой установки малой мощности в соединении с использованием его для целей теплофикации деповских ж.-д. станций, должно привлекать наше особое внимание. Судя по докладу Госплана СССР на первой сессии Верховного Совета СССР, в связи с 5-летним планом 1946—1950 гг., на очередь ставится вопрос о применении на транспорте внутриатомной энергии, как перспективной новой техники. Энергетические средства транспорта всегда были автономными и несомненно по законам диалектики им принадлежит и будущее, каковы бы ни

¹⁾ Закон о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг.

были промежуточные этапы развития, прохождение которых, как известно, не всегда обязательно: всегда возможен переход на высшую стадию, минуя промежуточную. Сохранение автономности диктуется и стратегическими соображениями, всей международной обстановкой. Поэтому и с этой точки зрения паровоз на данном этапе развития, оказывается, должен являться основным двигателем ж.-д. транспорта, но, конечно, мы от него должны взять все, что он может дать. А дать он может еще многое.

Многие метафизики считают свое предложение прочно обоснованным одним тем, что они победоносно разбили возражения, какие были выставлены против предложения, и на этом успокаиваются, т. е. подменяют удостоверение в доказанности предложения удостоверением в одной лишь его неопровержимости. Этим характеризуется известная логическая ошибка, носящая название подмены доказательства (*ignotio elenchi*). Автор не хотел бы впасть в эту ошибку. Поэтому он считает:

1. Дискуссия должна продолжаться, должны быть выслушаны новые возражения.

2. Необходимо приступить теперь же к разработке проектного задания применительно к какому-либо конкретному отделению ж. д. Практика есть лучший критерий истины. В процессе работы над проектным заданием могут и должны выявиться непредусмотренные теперь трудности, но, надо полагать, будут найдены и средства для их преодоления. Разработка проектного задания не под силу одному человеку, тут требуется целый коллектив и средства на оплату его работы. Вот этого то и нет пока в распоряжении автора.