

УДК 625.1

Кандидаты техн. наук Ю. М. ЛАЗАРЕНКО, Д. Н. АРШИНЦЕВ, инженеры В. В. СЕМЕРХАНОВ, Н. Н. МАЛИНИНА, Е. А. МИТИНА, Н. А. ШИБАЕВА

Научно-методическое обеспечение доставки железнодорожным транспортом сверхгабаритного, тяжеловесного оборудования на тепловые (ГРЭС, ТЭЦ) и атомные электростанции

Аннотация. Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ОАО «ВНИИЖТ») является головной организацией в разработке технологий и нормативных документов по обеспечению перевозок на особых условиях сверхгабаритных и тяжеловесных грузов на специальном подвижном составе. Вся действующая в России и странах СНГ нормативная документация по этому вопросу разработана учеными и специалистами института. На современном этапе потребность в указанных технологиях возросла в связи с наступившим периодом модернизации и обновления энергетического комплекса страны, требующим поставок нового современного оборудования для тепловых и атомных электростанций, которое должно поставляться в полностью собранном виде и является, как правило, сверхгабаритным и тяжеловесным.

В настоящей статье рассматриваются методические вопросы проведения перевозок сверхгабаритного оборудования на конкретных примерах таких перевозок сверхгабаритных парогенераторов на атомные станции, а также турбин, генераторов и трансформаторов — на тепловые электростанции.

При организации перевозок аналогичного энергетического оборудования могут быть использованы приведенные в статье особенности специальных технологий перевозки сверхгабаритных и тяжеловесных грузов.

Ключевые слова: атомные и тепловые электростанции; транспортеры сочлененные, площадочные; паровые турбины; газовая турбина; сверхгабаритный груз; обследование фактических габаритов сооружений и устройств; парогенератор

Введение. Электроэнергетика наряду с другими отраслями промышленности рассматривается как часть народно-хозяйственной экономической системы России.

Основная доля вырабатываемой электростанциями электроэнергии приходится на ГРЭС, ТЭЦ и АЭС. Основную роль играют мощные ГРЭС (более 2 млн кВт) и ТЭЦ (более 1 млн кВт). В настоящее время эксплуатируется 25 таких станций. Кроме того, в стране эксплуатируется 30 ядерных энергоблоков на 10 АЭС.

Новое энергетическое оборудование — это современные парогенераторы, газовые и паровые турбины и трансформаторы, которые из-за своего веса и размеров являются тяжеловесным и сверхгабаритным грузом. Доставка такого оборудования автотранспортом эффективна только на небольшие расстояния.

Специальным железнодорожным транспортом (многоосными транспортерами грузоподъемностью до 500 т) можно перевозить тяжеловесное оборудование на большие расстояния и без капитальной модернизации железнодорожных путей.

Перевозка по железным дорогам — это большой комплекс научно-технических задач для обеспечения безопасности движения и безопасной доставки груза.

К этим задачам относятся:

- съемка фактических габаритов приближения строений всех объектов инфраструктуры по маршруту с применением лазерного габаритомера ВНИИЖТ;
- определение по результатам съемки фактических габаритов препятствий для пропуска транспортера с грузом и разработка мер по их устранению;
- экспертиза конструкторской документации, расчетов поперечной устойчивости транспортера с грузом от опрокидывания и прочности транспортной оснастки;
- статические испытания прочности крепления груза на сочлененном транспортере, установление допускаемой скорости движения специального поезда с груженым транспортером;
- сопровождение перевозки с контролем прохождения контрольной рамы и груза у сооружений и при необходимости измерением динамических нагрузок, воспринимаемых грузом в процессе движения.

Перечисленный комплекс подготовительных работ к перевозке сверхгабаритного тяжеловесного оборудования, полученные допускаемые скорости движения и представляют собой специальную технологию перевозки сверхгабаритного тяжеловесного оборудования, предусмотренную нормативными документами и подлежащую выполнению по отношению к каждому заявленному в ЦДВ ОАО «РЖД» оборудованию, которое не может быть принято к перевозке по железным дорогам на общих условиях [1–6].

О перевозке парогенераторов ПГВ-1000МКП на атомные станции. В период с 2012 по 2014 г. специалисты ОАО «ВНИИЖТ» выполнили разработку

Таблица 1

Координаты критических точек

Точки	Полуширина, мм	Высота от уровня головок рельсов, мм	Расстояние, мм, от направляющего сечения при		Допустимое расстояние, мм, от оси пути до сооружения в прямой для движения со скоростью до, км/ч	
			$l_{\min}$	$l_{\max}$	40	5
А	360	5360	14 720	19 820		
Б	1450	5360	14 720	19 820	1615	1590
В	1980	4650	14 720	19 820	2135	2110
Г	2220	4290	14 720	19 820	2360	2340
Д	1830	4510	14 720	19 820	1975	1955
Е	1980	4305	14 720	19 820	2125	2105
Ж	2280	2985	15 330	20 430	2400	2390
З	1590	410	14 720	19 820	1665	1665
И	1435	190	14 720	19 820	1510	1510
К	1640	625	14 720	19 820	1715	1715
М	1640	1370	14 720	19 820	1715	1715

и реализацию специальной технологии перевозки сверхнегабаритных парогенераторов с Подольского завода на Нововоронежскую и Ленинградскую атомные станции, генератора со ст. Приобье на ст. Серов Свердловской железной дороги на ГРЭС, двух генераторов и одной турбины со ст. Пермь II на ст. Нижняя Тура Свердловской железной дороги, статора и трансформатора со ст. Уфа на ст. Золотая Сопка, газовой и паровой турбин и трансформатора со ст. Сосьва на ст. Серов Свердловской железной дороги.

В настоящей статье рассмотрим, прежде всего, вопросы подготовки и осуществления перевозки сверхнегабаритного парогенератора нового поколения ПГВ-1000МКП [7, 8], подлежащего доставке на атомные электростанции с целью их модернизации или строительства новых ядерных блоков.

Для перевозки парогенераторов выбран транспортер сочлененного типа ТСЧ-500К, который имеет

гидравлическое устройство, позволяющее при необходимости сместить груз вправо-влево и благодаря этому перевозить груз в стесненных по габаритам местах без строительных работ.

Парогенератор ПГВ-1000МКП, погруженный на транспортер сочлененного типа ТСЧ-500К, по данным ОАО «Ижорские заводы» (№10100/10-2694 от 03.10.08), имеет следующие параметры:

- длина парогенератора по осям подвешивания $l_{\text{п}} = 15 810$ мм;
- длина транспортера по осям автосцепки $L_{\text{сч}} = 65 740$ мм;
- база транспортера по внутренним водилам $l_{\min} = 30 260$ мм;
- база транспортера при внешнем ведении $l_{\max} = 30 260 + 10 200 = 40 460$ мм;
- масса парогенератора — 330 т, масса крепления — 100 т. Общая масса груза — 430 т;
- максимально возможный поперечный сдвиг груза для обхода препятствия в прямых — 550 мм, а в кривых — в зависимости от радиуса. Подъем груза — 450 мм;
- нагрузка от оси на рельсы — 20,53 тс;
- нагрузка на погонный метр пути — 9,99 т.

Координаты критических точек даны в табл. 1 и на рис. 1 и 2.

Согласно табл. 1 для безопасного прохода парогенератора в прямых со скоростью до 40 км/ч расстояние до сооружений должно быть для наиболее неблагоприятной критической точки Ж не менее 2400 мм. Учитывая, что стандартный габарит приближения строений С на этой высоте устанавливает для всех сооружений расстояние от оси пути 2450 мм, а для опор мачт и столбов — 2750–3100 мм, пропуск ТСЧ-500К с парогенератором ПГВ-1000МКП в прямых участках может осуществляться без затруднений, за исключением мест с негабаритными объектами.

Более сложной задачей является перевозка парогенератора в кривых участках пути, так как нормативное

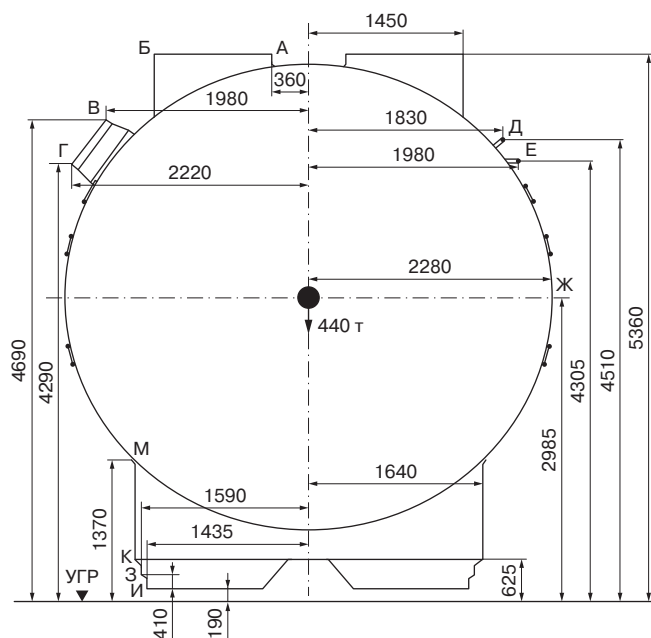


Рис. 1. Парогенератор ПГВ-1000МКП на ТСЧ-500К

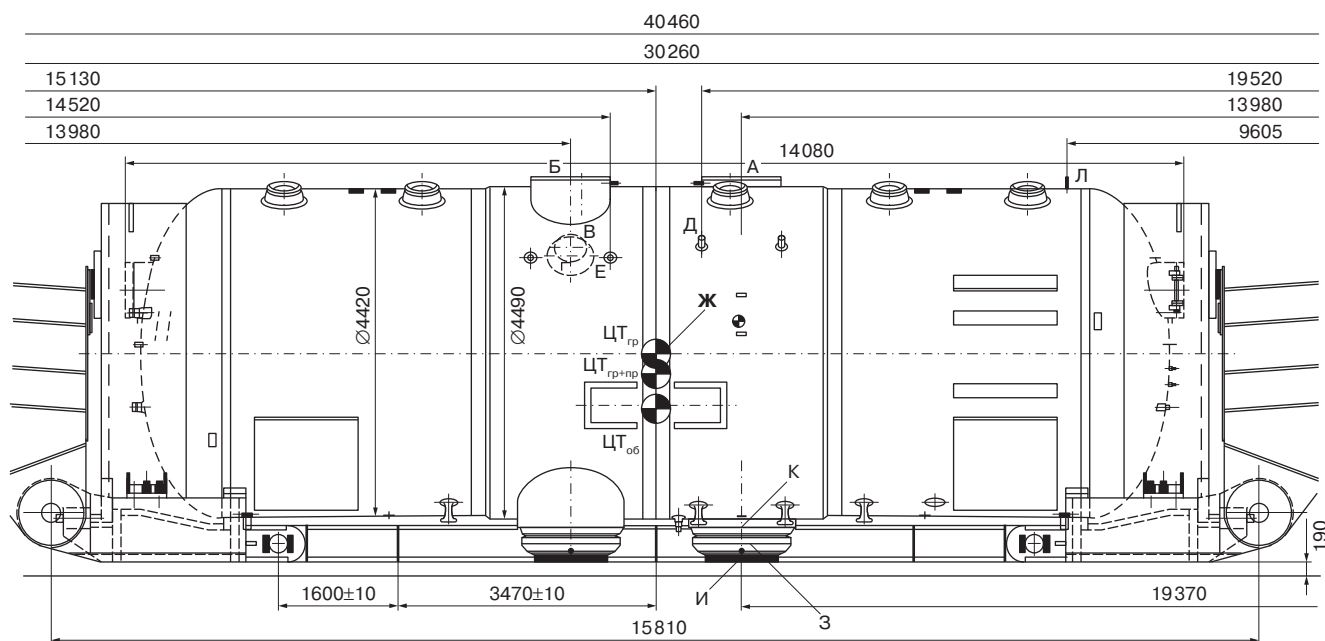


Рис. 2. Продольный вид парогенератора ПГВ-1000МКП, погруженного на ТСЧ-500К

Таблица 2

Расчетные данные для пропуска парогенератора в кривых участках

Радиус, м	2000	1000	900	800	700	600	500	400	350	300	250
b_{RB} , мм	63	126	140	158	181	211	253	316	361	422	506
g_R , мм	52	104	116	131	150	174	209	261	299	349	418
b_{Rg} , мм	498	446	434	419	400	376	341	289	251	201	132
X , мм, при $v = 40$ км/ч	2463	2526	2540	2558	2581	2611	2653	2716	2761	2822	2906
X , мм, при $v = 5$ км/ч	2453	2516	2530	2548	2571	2601	2643	2706	2751	2812	2896

уширение габарита С производится из учета базы расчетного вагона, равной 17 м, а база транспортера по внутренним водилам больше почти в два раза и составляет $l_{\min} = 30660$ мм. При этом в расстоянии сооружений для пропуска ТСЧ-500К должен быть учтен геометрический вынос b_{RB} , определяемый по формуле

$$b_{RB} = \frac{500}{R} \left[n_B^{\max} (l_{\max} - n_B^{\max}) + \frac{\sum P_{\max}^2}{4} \right] - g_R, \quad (1)$$

где

$$g_R = \frac{125(l_{\max}^2 - l_{\min}^2 + (\sum P_{\max}^2 - \sum P_{\min}^2))}{R} \leq g_R^{\max}, \quad (2)$$

для ТСЧ-500К $\sum P_{\max}^2 = 180$, $\sum P_{\min}^2 = 72$, $n_B^{\max} = 20,43$ м; $l_{\max} = 40,86$ м; $l_{\min} = 30,66$ м.

Для среднего внутреннего сечения, где находится критическая точка Ж, формулы (1) и (2) приобретают вид

$$b_{RB} = \frac{126503}{R}, \text{ мм}; \quad (3)$$

$$g_R = \frac{104687}{R}, \text{ мм}. \quad (4)$$

Для кривых различных радиусов геометрический вынос парогенератора b_{RB} в точке Ж, смещение

катковых опор g_R , а также возможный сдвиг груза в кривой для обхода препятствий $b_{Rg} = g_R^{\max} - g_R$ приведены в табл. 2. В табл. 2 приведены также в зависимости от радиуса требуемые для пропуска парогенератора расстояния X от оси пути до сооружений для скоростей 40 и 5 км/ч.

При наличии в кривых возвышения наружного рельса h значения X должны быть дополнительно увеличены на смещения b_h , приведенные в табл. 3.

Наиболее проблемными являются мачты, расположенные в закрестовинных кривых, радиус которых, учитывая, что марка крестовины не круче 1/11, составляет 300 м. Возвышение наружного рельса в закрестовинных кривых, как правило, не превышает 40 мм. При этом расстояние до мачт в этих кривых для пропуска парогенератора должно быть не менее $X = 2822 + 76 = 2898$ мм. Согласно табл. 2 в кривой радиусом 300 м, по условию устойчивости транспортера,

Таблица 3

Смещения парогенератора (точка Ж) внутри кривой b_h из-за наклона от возвышения наружного рельса

h , мм	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	150
b_h	19	38	57	76	95	114	133	152	171	189	209	228	247	285

груз может быть сдвинут наружу кривой на 201 мм. Следовательно, при наличии в этой кривой негабаритной мачты для пропуска груза с учетом возможного его сдвига расстояние до мачты должно быть не менее $2898 - 201 = 2697$ мм.

Приведенные данные достаточны для определения условий пропуска парогенератора на любом маршруте после лазерной съемки на нем фактических габаритов приближения строений всех сооружений и устройств с использованием лазерного габаритомера ОАО «ВНИИЖТ».

В качестве первого маршрута, который необходимо было подготовить к пропуску транспортера ТСЧ-500К с парогенератором ПГВ-1000МКП, был выбран маршрут Подольск (Московская дорога) — Нововоронежская (Юго-Восточная дорога).

По согласованию с ЦДВ ОАО «РЖД» маршрут перевозки был принят по следующим пунктам: Подольск — Гривно — Столбовая-1 — Детково — Усады — Михнево — Шагурово — Жилево — Ступино — Кашира — Ожерелье — Мордвес — Узловая-2 — Узловая-1 — Узловая-3 — Жданка — Волово — Карапси — Ефремов (Московская дорога) — Елец — Отрожка — Нововоронежская (Юго-Восточная дорога).

Анализ полученных размеров внутренних очертаний всех сооружений и устройств маршрута показал, что, за исключением двух платформ и путепровода на Московской железной дороге и одного тоннеля на участке Отрожка — Колодезная 586,8 км Юго-Восточной дороги, все остальные обеспечивают пропуск парогенератора со скоростью до 40 км/ч. По указанным объектам в качестве условий пропуска на Московской дороге было принято снижение скорости до 5 км/ч при поперечном сдвиге груза на 50 мм. На Юго-Восточной дороге проблема была установлена на участке Отрожка — Колодезная 586,8 км, где в качестве препятствия был выявлен светильник.

На расстоянии 167 км от портала светильник закреплён на расстоянии, мм:

Высота Y , мм	4050	3932	3869	3775	3614	3680	3580	3600	3568
От оси пути X , мм	2341	2255	2243	2263	2087	2275	2204	2320	2341

Внешний контур парогенератора в этой области имеет следующие координаты, которые определены из учета диаметра корпуса 4560 мм и высоты центра тяжести 2985 мм:

Высота Y , мм	3500	3580	3614	3650	3730	3800	3850	3900	3950	4000	4100	4200	4290
От оси пути X , мм	2221	2201	2191	2180	2148	2129	2109	2088	2066	2042	1988	1929	2220

Наиболее проблемными являются ограничения в тоннеле на высоте 3580 мм, где $X = 2204$ мм, а у парогенератора $X = 2201$ мм — зазор 3 мм, и на высоте 3614 мм, где светильник имеет $X = 2087$ мм, а парогенератор 2191 мм, зазор — 104 мм.

Даже при условии сдвига груза в противоположную сторону на предельно возможную величину 95 мм, ограничиваемую противоположной стенкой тоннеля,

безопасность пропуска парогенератора не обеспечивалась, в связи с чем светильник с указанными габаритами необходимо было демонтировать, что и было сделано на Юго-Восточной дороге при пропуске ТСЧ-500К.

Весь маршрут Подольск — Нововоронежская общей протяженностью 682 км был за 5 сут 2,5 ч. Время движения составило 32 часа со средней скоростью 21,5 км/ч. Кроме вагона-лаборатории, по всему маршруту ТСЧ-500К с парогенератором сопровождался представителями ГОС, ПЧ, ШЧ и ЭЧ Московской и Юго-Восточной дорог, которые вместе с сотрудниками лаборатории ОАО «ВНИИЖТ» наблюдали за прохождением контрольной рамы и обеспечивали безопасное следование ТСЧ-500К с парогенератором по всему маршруту.

Доставка парогенератора ПГВ-1000МКП на Ленинградскую АЭС осуществлялась по экономическим соображениям в смешанном железнодорожно-водно-автомобильном сообщении. Железнодорожный ход был ограничен участком Подольск — Гривно — Столбовая — Чехов — Серпухов. При обследовании габаритов этого участка было выявлено лишь одно препятствие: перед кривой на выходе со ст. Серпухов на подъездной путь — мачтовый светофор на бетонной опоре. Это препятствие преодолевалось сдвигом парогенератора перед опорой на 250 мм.

Перевозка сверхгабаритного оборудования на Серовскую ГРЭС. В смешанном сообщении осуществлялась доставка сверхгабаритных газовой турбины и статора генератора на Серовскую ГРЭС на 28-осных сочлененных транспортерах грузоподъемностью 400 т (ТСЧ-400).

Газовая турбина имеет массу 310 т и размеры: длина — 10,93 м, ширина — 5040 мм, высота — 4860 мм. Статор генератора имеет массу 342 т и размеры: длина — 12,0 м, ширина — 3920 мм, высота — 4540 мм.

Турбина для железнодорожной перевозки являлась сверхгабаритным грузом, ее размеры больше, чем у генератора, и превышали по ширине (5040 мм) габарит С, и возможность ее доставки по железной дороге определялась наличием у искусственных сооружений дополнительного габаритного пространства. По паспортным данным ширина пролетных строений мостов на маршруте — 5150 мм, что при ширине турбины 5040 мм свидетельствует о возможности ее пропуска по мостам, но при подтверждении в достаточности имеющихся фактических зазоров в свету 55 мм для безопасного пропуска турбины, так как минимальный зазор по действующим нормам превышает 55 мм.

С учетом изложенного перед институтом как разработчиком действующих норм и была поставлена задача проведения расчетов минимально допустимых зазоров для пропуска груза по конкретному сооружению на конкретном подвижном составе, при которых

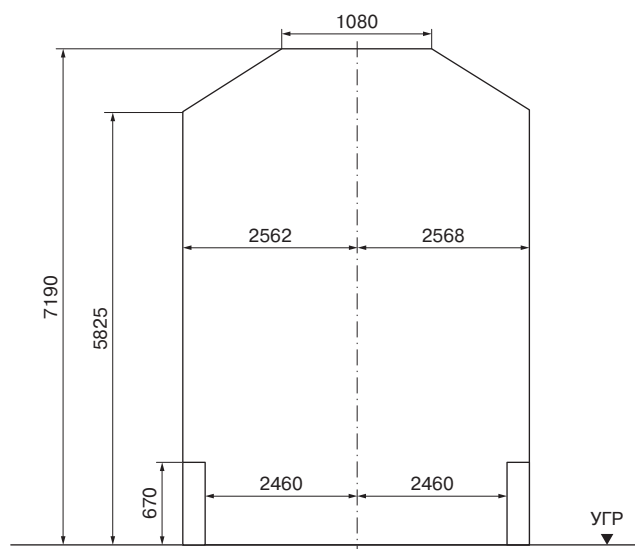


Рис. 3. Наименьшее поперечное внутреннее очертание моста 99 км перегона Кершаль — Пелым

исключаются неопределенности, приводящие к обобщению исходных расчетных данных и завышению нормативного минимального зазора.

Фактические зазоры между внутренним очертанием сооружения и грузом в свету также подлежали проверке, что связано с необходимостью актуализации паспортных данных о габаритах приближения строений сооружений. К искусственным сооружениям, которые могли стать препятствием для железнодорожной перевозки на участке Нягань — Серов, относились следующие мосты с ездой понизу:

- перегон Кершаль — Пелым км 99;
- мост через реку Лозьва перегона Першино — Пыновка км 5 пк7;
- мост Лангур — Сама км 784;
- путепровод ст. Лесоразработки — Серов-Сорт. км 8 пк8.

Все указанные искусственные сооружения были обмерены, размеры их внутренних очертаний представлены на рис. 3 — 7.

Проверка ширины колеи и уровня рельсовых путей на этих сооружениях показала, что состояние пути на них соответствует действующим нормам.

По габаритам каждого из приведенных сооружений можно дать следующую оценку возможности пропуска сверхгабаритной турбины, имеющей максимальные размеры по критическим точкам согласно табл. 4.

Ниже рассматриваются возможности пропуска турбины по указанным искусственным сооружениям.

Мост через реку Пелым на перегоне Кершаль — Пелым км 99 (см. рис. 3). Размеры внутреннего очертания моста соответствуют стандартному габариту С по ГОСТ 9238 — 83, но зазоры в свету между ним и турбиной составляют 42 и 48 мм, возможность применения которых при перевозке требует дополнительных

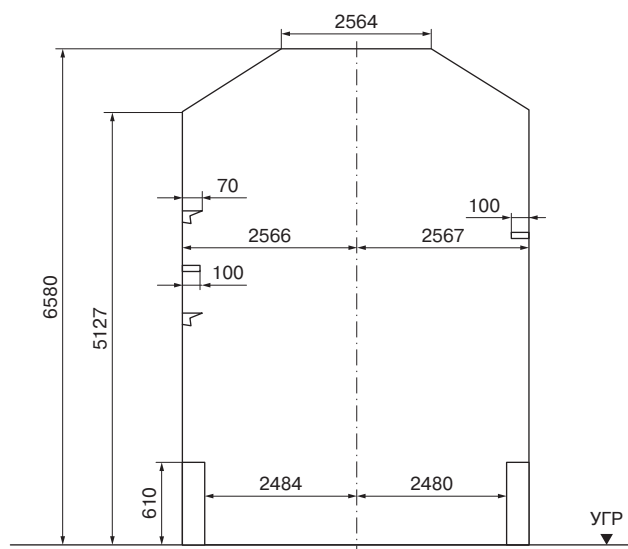


Рис. 4. Наименьшее поперечное внутреннее очертание моста Першино — Пыновка.

Примечание. Внутри поперечного сечения справа и слева входят, уменьшая его габариты и мешая пропуску турбины, не относящиеся к конструкции пролетных строений уголки приспособления для крепления линий связи и электропитания; учитывая, что конструкция пролетных строений по своим габаритам обеспечивает пропуск турбины, указанные элементы подлежат демонтажу на период пропуска груза

обоснований со стороны ВНИИЖТа, разработавшего действующие нормы.

Мост с ездой понизу через реку Лозьва перегона Першино — Пыновка км 5, пк 7 (рис. 4). Габаритные размеры внутреннего очертания по несущим балкам порталов, раскосов и стоек соответствуют габариту С, и между ним и турбиной обеспечиваются зазоры в свету 46 и 47 мм. Внутри поперечного сечения справа и слева входят, уменьшая его габариты и мешая пропуску турбины, не относящиеся к конструкции пролетных строений уголки приспособления для крепления линий связи и электропитания. При пропуске турбины указанные элементы подлежали демонтажу на период пропуска груза, что и было сделано, учитывая болтовые крепления указанных приспособлений к пролетным строениям.

Мост с ездой понизу через реку Сосьва на перегоне Лангур — Сама км 78 (рис. 5). Внутренние очертания пролетных строений моста через реку Сосьва отвечают габариту С, но без учета входящих в него на 100 мм с каждой стороны лестниц. Лестницы были расположены с одной стороны каждого портала, заходили внутрь основного очертания на 100 мм, с каждой

Таблица 4

Критические точки турбины

Турбина	1	2	3	4	5	6
У	340	1100	2870	3500	4841	5290
Х	1500	2520	2520	2170	2201	1465

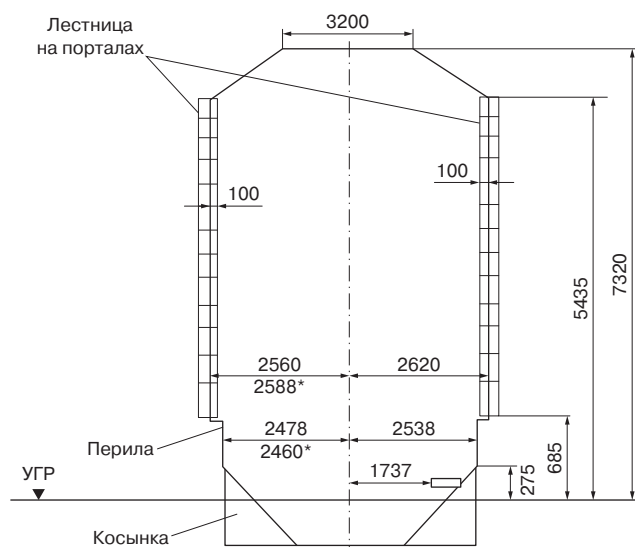


Рис. 5. Наименьшие поперечные сечения внутренних очертаний моста с ездой понизу на перегоне Лангур — Сама участка Нягань — Серов Свердловской дороги км 78.

Примечание: 1. Знаком «*» обозначены размеры до внутренних очертаний от оси пути портала со стороны станции Лангур. 2. Лестницы расположены с одной стороны каждого портала, заходят внутрь основного очертания на 100 мм, с каждой стороны имеют болтовое крепление и могут быть демонтированы на период пропуска груза

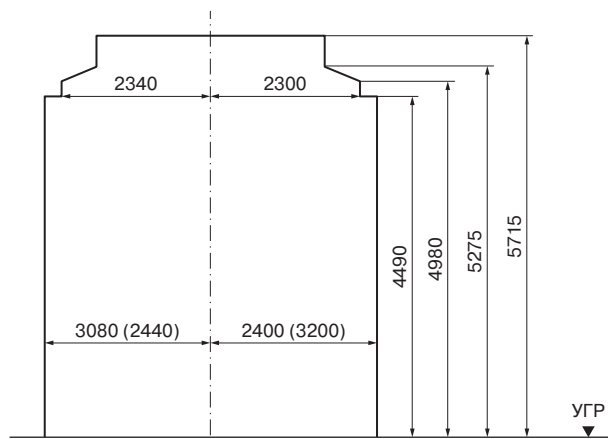


Рис. 6. Внутреннее очертание путепровода

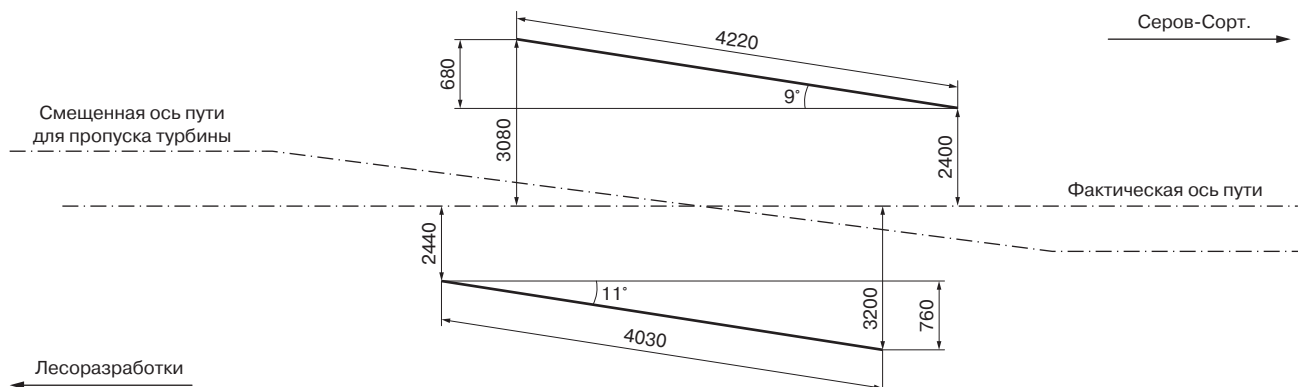


Рис. 7. Схема расположения опор путепровода относительно оси пути.

Примечание. Опоры путепровода расположены относительно оси пути не параллельно, а под углом $9^\circ - 11^\circ$

стороны имели болтовое крепление и могли быть демонтированы на период пропуска груза. После демонстрации лестниц минимальный зазор между турбиной и фермами составлял 40 мм.

Путепровод на перегоне ст. Лесоразработки — Серов-Сорт. км 8, пк 8 (нерабочий, законсервирован, рис. 6—7). Внутреннее очертание путепровода действующему габариту С не отвечает (рис. 6), что связано с тем, что опоры путепровода расположены по отношению к оси пути не параллельно, а под углом $9^\circ - 11^\circ$ (рис. 7). Пропуск турбины под путепроводом мог быть обеспечен за счет улучшения симметрии расположения под ним рельсового пути смещением его со стороны ст. Лесоразработки на 200 мм влево и на 200 мм вправо со стороны станции Серов-Сорт. В этом случае обеспечивалось расстояние от оси пути до опор, равное 2600 мм, достаточное для безопасного пропуска турбины при зазоре 80 мм.

Выполненная контрольная проверка габаритов сооружений подтвердила техническую возможность безопасного пропуска сверхгабаритной турбины при разработке ОАО «ВНИИЖТ» обоснований возможности применения при перевозке минимального зазора в свету 40 мм.

Рассмотрим эти обоснования.

Для решения возникших задач необходимо было учесть основные принципы расчета минимально допустимых зазоров, приведенных в табл. 5.2 Инструкции ДЧ-1835 для определения возможности пропуска негабаритных грузов по сооружениям.

1. Фактический зазор в свету между критическими точками груза и внутренним очертанием искусственных сооружений (мосты с ездой понизу, тоннели, путепроводы и др.) должен быть достаточным для прохода груза без задевания сооружения.

2. Негабаритный груз при движении испытывает смещения, суммарная величина которых не должна превышать свободного зазора между грузом и сооружением. Величина смещений определяется состоянием рельсовой колеи, ходовых частей подвижного состава и зависит от скорости движения.

3. Для расчета минимально допустимого зазора на конкретном сооружении для пропуска конкретного груза учитывается минимальная, предусмотренная Инструкцией по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов на железных дорогах государств — участников СНГ, Латвийской Республики, Литовской Республики, Эстонской Республики скорость движения — скорость протаскивания — до 3 км/ч, называемая еще пятым режимом.

Минимальная величина этого зазора δ_x складывается из следующих учтенных в Инструкции № ДЧ-1835 для обобщенного состояния пути и подвижного состава смещений груза:

$$\delta_x = E + b_s + b_\alpha + b_\theta + C_r, \quad (5)$$

где E — смещение из-за разбега колесных пар в рельсовой колее и в элементах ходовых частей —

$$E = 0,5(s - d) + q + w;$$

d — расстояние между наружными гребнями колесных пар —

$$d = 1437 + 2t;$$

t — толщина гребня колес; b_s — отклонение пути по рихтовке, ширине колеи, упругому отжиму рельсов; b_α — смещение при наклоне на угол α вследствие отклонений рельсовой колеи по уровню на величину Δh

$$b_\alpha = Y \frac{\Delta h}{1580}, \text{ мм};$$

Y — высота критической точки груза от уровня головок рельсов; b_θ — смещение при наклоне на угол θ из-за прогиба рессор на f мм при динамических колебаниях боковой качки —

$$b_\theta = (Y - h_0) \operatorname{tg} \theta,$$

$\operatorname{tg} \theta = \frac{f}{2450}$; h_0 — высота центра боковых наклонений груза из-за просадки рессор; C_r — резерв в зазоре на возможное смещение вследствие упругих деформаций элементов крепления груза.

В данном случае крепление жесткое — $C_r = 0$.

Расчет минимально допустимых зазоров для пропуска по пятому режиму турбины на сочлененном транспортёре ТСЧ-400 на мостах с ездой понизу через реку Пелым, перегон Кершаль — Пелым км 99, реку Лозьва, перегон Першово — Пыновка км 5, пк 7 и реку Сосьва, перегон Лангур — Сама км 78. Пятый режим движения предусматривает проведение предварительной контрольной проверки фактических размеров сооружений и груза, состояния пути и устранение выявленных отступлений в ширине колеи и по уровню.

С учетом этого для движения на трех мостах с конкретными отклонениями в состоянии пути по ширине колеи и уровню принимаются следующие численные значения указанных в формуле (5) компонентов

минимально допустимого зазора для разового пропуска транспортера с турбиной:

$$S = 1520 \text{ мм};$$

$$d = 1437 + 2 \cdot 28 = 1493 \text{ мм}.$$

Согласно Инструкции ЦВ/4422

$$(q + w) = 18 \text{ мм};$$

$$b_s = 2 \text{ мм}; \Delta h = 2 \text{ мм}; b_\alpha = 0,0012 Y \text{ мм}; f = 3 \text{ мм};$$

$$b_\theta = (Y - 700) 0,0012.$$

Таким образом,

$$\delta_x = 33,5 + 0,0024 Y - 0,84. \quad (6)$$

Для турбины $Y = 2870$ мм и $\delta_x = 39,54$ мм.

Минимальный фактический зазор в свету на рассмотренных мостах для турбины и генератора больше 39,54 мм, и, следовательно, при соблюдении указанных значений b_s , Δh и f и выполнении работ на мостах пропуск турбины и генератора может быть осуществлен на пятом режиме движения.

В результате выполненного расчета минимально допустимого зазора между очертанием мостов и турбины, исходя из конкретных дополнительных требований к состоянию пути на мостах по ширине колеи и уровню, установлено, что при скорости движения на мостах по пятому режиму минимально допустимый зазор в свету составляет 39,5 мм.

Фактические зазоры от турбины до несущих элементов конструкции ферм моста превышают указанный минимальный зазор и, следовательно, обеспечивают возможность безопасного пропуска турбины. Однако для обеспечения указанных выше фактических зазоров необходимо выполнить демонтаж на мосту через реку Лозьва приспособлений для крепления линий связи и электропитания, а через реку Сосьва — двух лестниц на порталных раскосах.

Под путепроводом пропуск турбины также обеспечивался за счет смещения пути под ним на 200 мм.

Особенности размещения груза на сочлененном транспортёре состоят в том, что груз закрепляется между несущими балками как самонесущий или на специальных транспортных балках. В верхней части груз или транспортная балка зажимается, а в нижней — растягивается (рис. 8). На рис. 8 представлен самонесущий груз, корпус которого оборудован нижними проушинами и верхними пластинами для восприятия продольных нагрузок от верхних упоров консолей транспортера. Процесс погрузки груза на сочлененный транспортер состоит в сочленении нижних проушин с проушинами транспортера и защемлении верхних пластин груза верхними упорами транспортера. Согласно нормативным документам в процессе размещения груза на транспортёре должна быть испытана прочность крепления груза, т. е. нижних проушин на растяжение и верхних пластин на сжатие.



Рис. 8. Принцип размещения и крепления груза, подлежащего перевозке на сочленном транспортере. Силы, удерживающие груз от падения на путь:
1 — сжимающие; 2 — растягивающие



Рис. 9. Измерительные схемы от тензорезисторов для подключения к регистрирующей аппаратуре, показанной на рис. 10



Рис. 10. Регистрация напряжений

Испытания прочности проводятся с целью превышения возникающих в наиболее напряженных местах элементов крепления груза допустимых напряжений. Испытания проводятся в соответствии с «Нормами для расчетов и проектирования новых и модернизируемых железнодорожных транспортеров общего назначения колеи 1520 мм».

Сигнал от каждого тензорезистора с помощью измерительных схем регистрируется на ноутбуке (рис. 9, 10) при неоднократном нагружении и разгрузке элементов крепления.

На Свердловской железной дороге в 2012 г. с участием лаборатории ОАО «ВНИИЖТ» была выполнена сложная по организации и наукоемкая перевозка двух грузов: сверхгабаритной газовой турбины массой 372,169 т на сочленном транспортере грузоподъемностью 400 т (ТСЧ-400) и сверхгабаритной паровой турбины массой 203,346 т на транспортере площадочного типа грузоподъемностью 220 т (рис. 11). Эти грузы должны были быть доставлены со ст. Сосьва на ст. Углежжение — Серов.

Особенностью этой перевозки было обеспечение безопасности не только по габаритным условиям, но и по динамическим нагрузкам на паровую турбину, что практически соответствует динамическим испытаниям.

Объект испытаний — тяжеловесный груз (паровая турбина), размещенный и закрепленный на 16-осном транспортере площадочного типа грузоподъемностью 220 т (тип 3998). Схема размещения груза на транспортере согласована к перевозке по маршруту ст. Сосьва — ст. Углежжение Свердловской железной дороги телеграммой ЦДВ ОАО «РЖД».

Основные транспортные параметры груженого транспортера представлены в табл. 5.

Целью испытаний являлось экспериментальное определение фактических динамических перегрузок, воспринимаемых тяжеловесным грузом, размещенным на 16-осном площадочном транспортере грузоподъемностью 220 т, ТПЛ-220, при движении по железнодорожным путям колеи 1520 мм в составе специального поезда при реализации плановой перевозки по маршруту Сосьва — Углежжение.

В процессе перевозки экспериментально определялись продольные, вертикальные и горизонтальные ускорения (динамические перегрузки) груза, возникающие в процессе транспортировки с учетом реальных режимов движения специального поезда по маршруту следования.

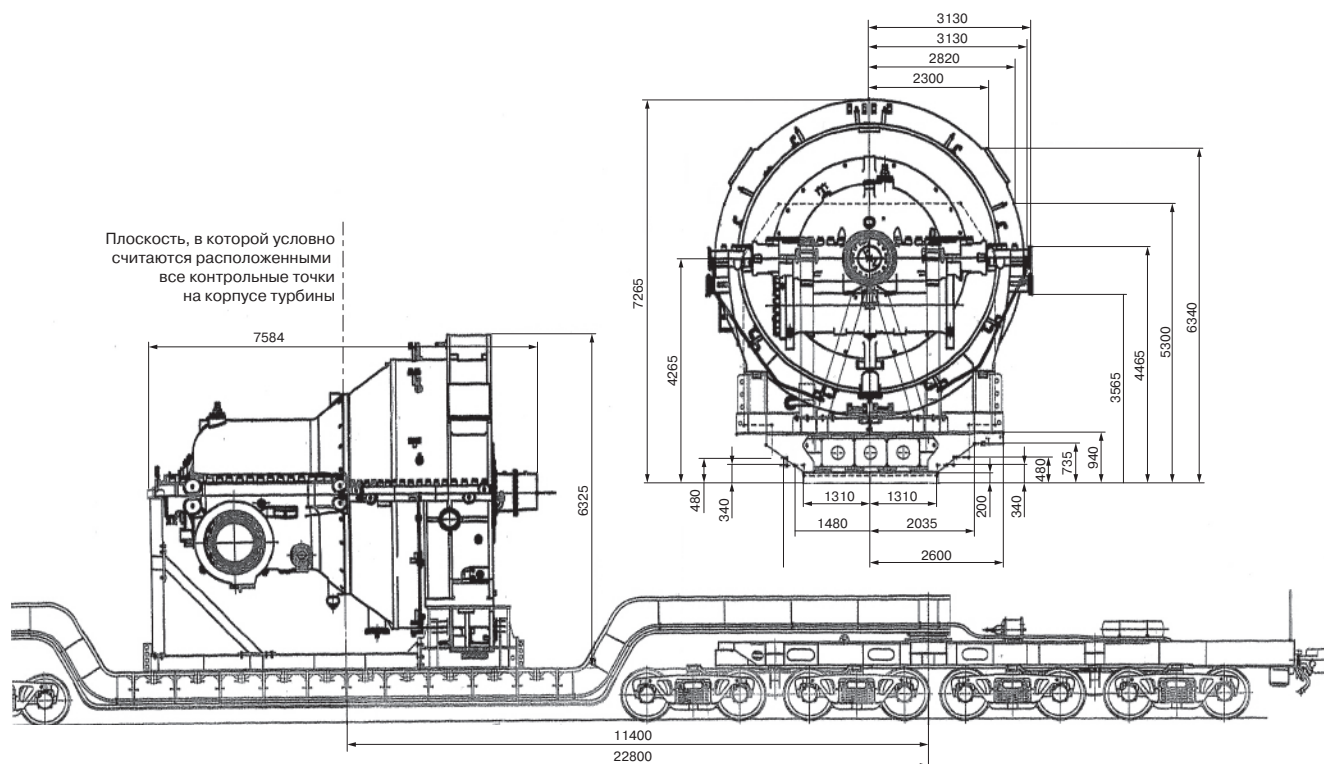


Рис. 11. Перевозка паровой турбины на Серовскую ГРЭС. Предварительная схема размещения на 16-осном площадочном транспортёре типа 3928 или 3925

В ходе проведения динамических испытаний регистрировались:

- пространственные (продольные, вдоль оси пути; вертикальные и поперечные горизонтальные) ускорения груза;
- географические координаты и фактическая скорость движения поезда.

Типы применяемых тензометрических усилителей и датчиков, частотный диапазон регистрации динамических процессов и погрешности измерений динамических процессов приведены в табл. 6.

Места расположения акселерометров представлены на рис. 12.

Оборудование груженого транспортёра акселерометрами производилось в месте погрузки турбины на транспортёр непосредственно после закрепления груза на транспортёре в соответствии со схемой погрузки и включало в себя:

- монтаж акселерометров на грузе и на турникетах транспортёра;

Таблица 5

Транспортные параметры

№ п/п	Наименование параметра, размерность	Величина параметра
1	Длина груза по крайним сечениям, мм	7465
2	Длина погрузочной площадки, мм	8900
3	Ширина груза, мм	6340
4	Продольное смещение центра тяжести груза относительно середины турбины, мм	177
5	Высота центра тяжести относительно уровня верха головки рельса, мм: груза груженого транспортёра	4265 2990
6	Индекс негабаритности	H-8888
7	Масса груза, включая транспортную оснастку, т	203 346
8	Статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, тс	20,125*

*Средняя расчетная.

Таблица 6

Технические характеристики измерительного оборудования

№ п/п	Наименование оборудования, тип	Регистрируемый динамический процесс	Частотный диапазон регистрации/обработки, Гц	Погрешность измерения, %
1	Тензометрический усилитель Spider 8	Ускорения	—	5,0
2	Акселерометр емкостной 8305 B10	Ускорения	0 – 150 / 0 – 20	5,0
3	Устройство GPS	Географическая координата нахождения специального поезда; скорость движения	—	—

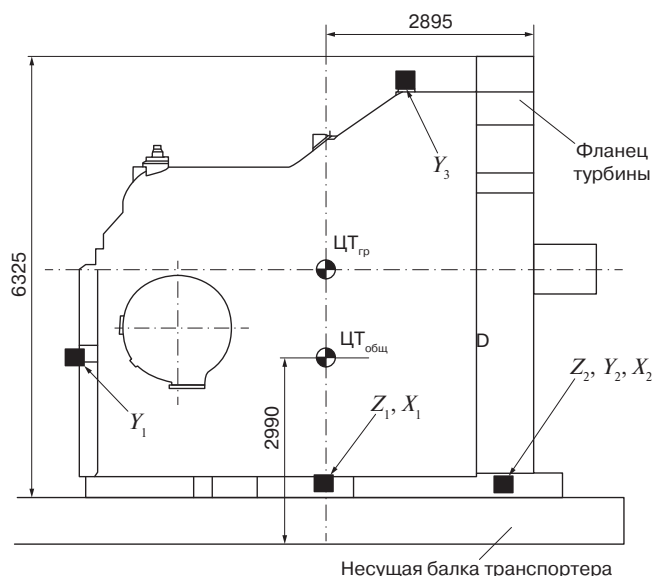


Рис. 12. Схема расположения акселерометров на паровой турбине: X_1, X_2 — акселерометры, измеряющие продольные ускорения; Y_1, Y_2, Y_3 — акселерометры, измеряющие поперечные ускорения; Z_1, Z_2 — акселерометры, измеряющие вертикальные ускорения

Таблица 7

Максимальные значения ускорений паровой турбины

№ п/п	Процесс*	Экспериментальные значения, g	Допускаемые значения, g
1	Y_1	0,15	0,8
2	Z_1	0,25	1
3	X_1	0,14	1
4	Y_2	0,14	0,8
5	Z_2	0,1	1
6	X_2	0,15	1
7	Y_3	0,15	0,8

*Обозначения приняты согласно рис. 12.

- монтаж тензометрических цепей;
- статическую тарировку акселерометров на ускорение величиной 1 g;
- определение масштаба регистрации ускорений.

При обработке динамических процессов определялись экстремумы записанных реализаций вертикальных, горизонтальных и продольных ускорений паровой турбины в диапазоне частот от 0 до 20 Гц.

Обработка регистрируемых динамических процессов производилась с целью контроля ускорений груза

из условия неперевышения ими величин, указанных заказчиком.

Максимальные значения ускорений паровой турбины, полученные в процессе ее перевозки, приведены в табл. 7.

Наибольшие значения вертикальных и горизонтальных ускорений были получены на максимальной скорости движения специального поезда, а наибольшие продольные ускорения были получены в моменты торможения и разгона. Из табл. 7 следует, что ни одно из полученных значений ускорений груза не превысило допускаемого значения, максимальные вертикальные ускорения составили 0,25g, продольные — 0,15g, поперечные — 0,15g. Требование обеспечения сохранности паровой турбины от динамических нагрузок выполнено. Для перевозки грузов был сформирован специальный поезд (рис. 13).

Заключение. Приведенные в статье особенности специальных технологий перевозки сверхгабаритных и тяжеловесных грузов могут быть использованы при организации перевозок аналогичного энергетического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Львов А.А., Бржезовский А.М., Крепкогорский С.С. Обеспечение перевозок тяжеловесного оборудования на железнодорожных транспортерах // Подвижной состав и путь в условиях интенсификации работы железных дорог: сборник научных трудов. М.: Транспорт, 1989. С. 39–46.
2. Крылов В.Л. Метод расчета катковых опор 36-осного транспортера сочлененного типа на стрелочных переводах // Подвижной состав и путь в условиях интенсификации работы железных дорог: сборник научных трудов. М.: Транспорт, 1989. С. 103–108.
3. Инструкция по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов на железных дорогах государств — участников СНГ, Латвийской Республики, Литовской Республики, Эстонской Республики, № ДЧ-1835. М., 2007. С. 3–37.
4. Единые технические условия эксплуатации железнодорожных транспортеров (ЕТУЭ-Т). М., 2009. 38 с.
5. Технические возможности железных дорог колеи 1520 мм стран СНГ и Балтии по перевозкам негабаритных, тяжеловесных и длиномерных грузов / А.М. Бржезовский [и др.] // Бюллетень ОСЖД. 2000. № 4–5. С. 10–15.
6. Перевозка сверхгабаритных и тяжеловесных грузов / Ю.М. Лазаренко [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2007. № 6. С. 53–55.
7. Маргулова Т.Х. Расчет и проектирование парогенераторов атомных электростанций: учебное пособие для вузов. М.-Л., Госэнергоиздат (ГЭИ), 1962. 144 с.

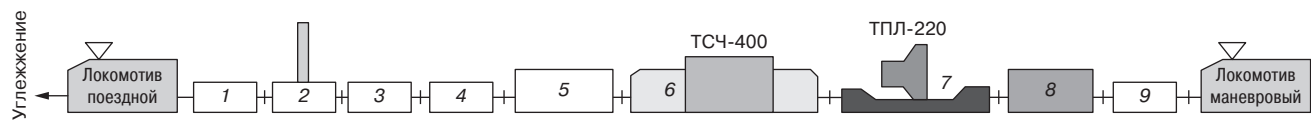


Рис. 13. Схема формирования специального поезда для перевозки газовой турбины на сочлененном транспортере ТСЧ-400 и паровой турбины на площадочном транспортере ТПЛ-220 по маршруту Сосьва — Серов-Сортировочный (парк Углежжение), Свердловская железная дорога:

1, 3, 4, 9 — платформы прикрытия порожние; 2 — контрольная рама; 5 — вагон сопровождения транспортера ТСЧ-400; 6 — сочлененный транспортер ТСЧ-400 с газовой турбиной; 7 — площадочный транспортер ТПЛ-220; 8 — вагон-лаборатория ОАО «ВНИИЖТ»

8. Рассохин Н. Г. Парогенераторные установки атомных электростанций: учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 384 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЛАЗАРЕНКО Юрий Михайлович,

заведующий лабораторией «Взаимодействие пути и подвижного состава, габариты и аэродинамика»,
ОАО «ВНИИЖТ».

129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.

Тел.: (495) 602-84-39.

АРШИНЦЕВ Дмитрий Николаевич,

ведущий научный сотрудник лаборатории «Взаимодействие пути и подвижного состава, габариты и аэродинамика»,
ОАО «ВНИИЖТ».

129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.

Тел.: (495) 602-84-14.

E-mail: 5017@mail.ru ✉

СЕМЕРХАНОВ Валерий Викторович,

старший научный сотрудник лаборатории «Взаимодействие

пути и подвижного состава, габариты и аэродинамика»,
ОАО «ВНИИЖТ».

129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.

Тел.: (499) 260-44-83.

МАЛИНИНА Наталья Николаевна,

начальник габаритообследовательской станции Московской железной дороги — филиала ОАО «РЖД».

107140, Москва, Краснопрудная ул., д. 20.

Тел.: (495) 602-83-69.

МИТИНА Елена Алексеевна,

научный сотрудник лаборатории «Взаимодействие пути и подвижного состава, габариты и аэродинамика»,
ОАО «ВНИИЖТ».

129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.

Тел.: (499) 260-83-69.

ШИБАЕВА Надежда Александровна,

заместитель заведующего отделением «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», ОАО «ВНИИЖТ».

129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.

Тел.: (499) 260-42-32.

Methodological framework for rail delivery of Super-OOG/Super-Heavy equipment machinery to thermal (condensing and thermal power plants) and nuclear electric power stations

Yury M. Lazarenko, Candidate of Technical Science, Head of Laboratory for Track/Rolling Stock Interactions, Clearances and Aerodynamics, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 602 8439.

Dmitry M. Arshintsev, Candidate of Technical Science, Leading Research Worker, Laboratory for Track/Rolling stock interactions, clearances and aerodynamics, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 602 8414. E-mail: 5017@mail.ru ✉

Valery V. Semerkhanov, Senior Research Worker, Laboratory for Track/Rolling stock interactions, clearances and aerodynamics, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4483.

Natalya N. Malinina, Head of Clearances Inspection Station, Moscow Railway — Branch of the JSC RZD. 20, Krasnoprudnaya str., 107140 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 602 8369.

Elena A. Mitina, Research Worker, Laboratory for Track/Rolling stock interactions, clearances and aerodynamics, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 8369.

Nadezhda A. Shibayeva, Deputy Division Manager, Integrated Studies in Track/Rolling Stock Interactions, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 260 4232.

Abstract. Railway Research Institute (JSC VNIIZhT) is the principal agency to develop technologies and regulatory documents concerning special projects for transportation of Super-OOG and Super-Heavy Cargoes using specially designed rolling stock. All relevant regulatory documents existing in the Russian Federation and CIS states has been developed by the scientists and experts of our Institute. At the present stage the demand for such technologies has increased in relation to arrival of the period to modernize and renew the national energy production facilities, which requires to supply newly-built up-to-date equipment to thermal and nuclear electric power stations — and to deliver it as an assembled unit, which normally is Super-OOG and Super-Heavy.

This article considers methodological issues of transporting Super-OOG equipment with specific references to recent deliveries of Super-OOG steam generators to nuclear power stations as well as deliveries of turbines, generators and transformers to thermal electric power stations.

In cases of demand to arrange deliveries of similar equipment to electric power stations, one may use details of specific transportation of Super-OOG and Super-Heavy cargo units mentioned in this article.

Keywords: nuclear and thermal electric power stations; chain-carrier flat wagons; steam turbines; combustion gas turbine; super-OOG cargo; inspection of existent clearances for structures and facilities; steam generating station

References

1. L'vov A. A., Brzhezovskiy A. M., Krepkogorskiy S. S. *Obe-spechenie perevozok tyazhelevosnogo oborudovaniya na zheleznodorozhnykh transporterakh* [Providing transportation of heavy equipment on rail transporters]. *Podvizhnoy sostav i put' v usloviyakh intensivatsii raboty zheleznykh dorog*. Sb. nauch. tr. VNIIZhT [Rolling stock and track under conditions of intensification

of the railways operation. Coll. sci. works of "VNIIZhT" (Railway Research Institute)]. Moscow, Transport Publ., 1989, pp. 39 – 46.

2. Krylov V. L. *Metod rascheta katkovykh opor 36-osnogo transportera sochlenennogo tipa na strochnykh perevodakh* [Calculating method of the roller bearings of 36-axle joint-type conveyor on the pointworks]. *Podvizhnoy sostav i put' v usloviyakh intensivatsii raboty zheleznykh dorog*. Sb. nauch. tr. VNIIZhT [Rolling stock and track under conditions of intensification of the railways operation. Coll. sci. works of "VNIIZhT" (Railway Research Institute)]. Moscow, Transport Publ., 1989, pp. 103 – 108.

3. *Regulations № DCh-1835 for transportation of oversized and heavy cargoes by the railways of CIS countries, the Republic of Latvia, The Republic of Lithuania, the Republic of Estonia*. Moscow, 2007, pp. 3 – 37. (in Russ.).

4. *Common specifications for the operation of railway transporters (ETUE-T)*. Moscow, 2009. 38 p. (in Russ.).

5. Brzhezovskiy A. M. et al. *Tekhnicheskie vozmozhnosti zheleznykh dorog kolei 1520 mm stran SNG i Baltii po perevozкам negabaritnykh, tyazhelevosnykh i dlinnomernykh грузов* [Technical capabilities of 1520 mm track gauge railways of the CIS and the Baltic states for transportation oversized, heavy and lengthy cargoes]. *Byulleten' OSZhD* [Bulletin of the Organization for Co-operation between Railways (OSJD)], 2000, no. 4 – 5, pp. 10 – 15.

6. Lazarenko Yu. M. et al. *Perevozka sverkhnegabaritnykh i tyazhelevosnykh грузов* [Transportation of superbulky and heavy cargo]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2007, no. 6, pp. 53 – 55.

7. Margulova T. Kh. *Raschet i proektirovanie parogeneratorov atomnykh elektrostantsiy* [Calculation and design of steam generators of nuclear power plants]. Moscow-Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1962. 144 p.

8. Rassokhin N. G. *Parogeneratornye ustanovki atomnykh elektrostantsiy* [Steam generating units of nuclear power plants]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987. 384 p.