

УДК 656.21

Новые принципы компоновки железнодорожной инфраструктуры, обслуживающей морские порты

П. К. Рыбин¹, М. В. Четчуев¹, А. Н. Иванков², А. Д. Винник¹

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

²ООО «ПСК ТехПроект», Российская Федерация, 107140, Москва, 3-й Красносельский пер., 21, стр. 1, оф. 305

Для цитирования: Рыбин П. К., Четчуев М. В., Иванков А. Н., Винник А. Д. Новые принципы компоновки железнодорожной инфраструктуры, обслуживающей морские порты // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 3. — С. 584–593. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-584-593

Аннотация

Цель: Содержащиеся в технической и учебной литературе схемные решения и принципы компоновки обслуживающей порты железнодорожной инфраструктуры длительное время не пересматривались. К настоящему времени произошли существенные изменения как в части организации работы непосредственно железнодорожного транспорта, так и в части его взаимодействия с водным. Также следует учесть и произошедший внушительный рост объемов перевалки в ряде морских портов. Эти обстоятельства требуют пересмотра и актуализации существующих принципов формирования конфигурации обслуживающей порты железнодорожной инфраструктуры. **Методы:** Исследования проводились с использованием ретроспективного и системного анализа схем и принципов компоновки обслуживающей порты железнодорожной инфраструктуры, а также технологии работы портовых узлов. **Результаты:** Было установлено, что существующие типовые схемные решения не обеспечивают грузооборот, характерный для ряда морских портов России. Сделан вывод, что разработка новых схем компоновки железнодорожной инфраструктуры при больших объемах грузооборота порта должна осуществляться с учетом обеспечения поточности поездных и маневровых передвижений. Определено, что современные принципы организации работы стыковых пунктов предполагают обустройство «сухих портов», наличие которых не предусматривается имеющимися типовыми схемными решениями. **Практическая значимость:** Предложены новые схемы компоновки обслуживающей порт железнодорожной инфраструктуры, которые могут быть использованы в последующем в качестве типовых решений.

Ключевые слова: Железнодорожная станция, морской порт, терминал, объем перевалки, схемные решения, организация движения.

Организация эффективного взаимодействия и обеспечение потребных объемов перевалки грузов между железнодорожным и водным транспортом является сложной и многофакторной задачей. Результаты транспортного взаимодействия будут зависеть от величины колебания объемов перевозок, соответствия пропускной и перерабатывающей способности транспортно-логистиче-

ской инфраструктуры предъявляемым объемам перевозок, уровня маршрутизации вагонопотоков, степени укомплектованности персоналом и техническими средствами, оптимальности применяемых технологических процессов и многих других факторов [1–4]. Особое внимание в части обеспечения эффективности смешанных железнодорожно-водных перевозок следует уделить

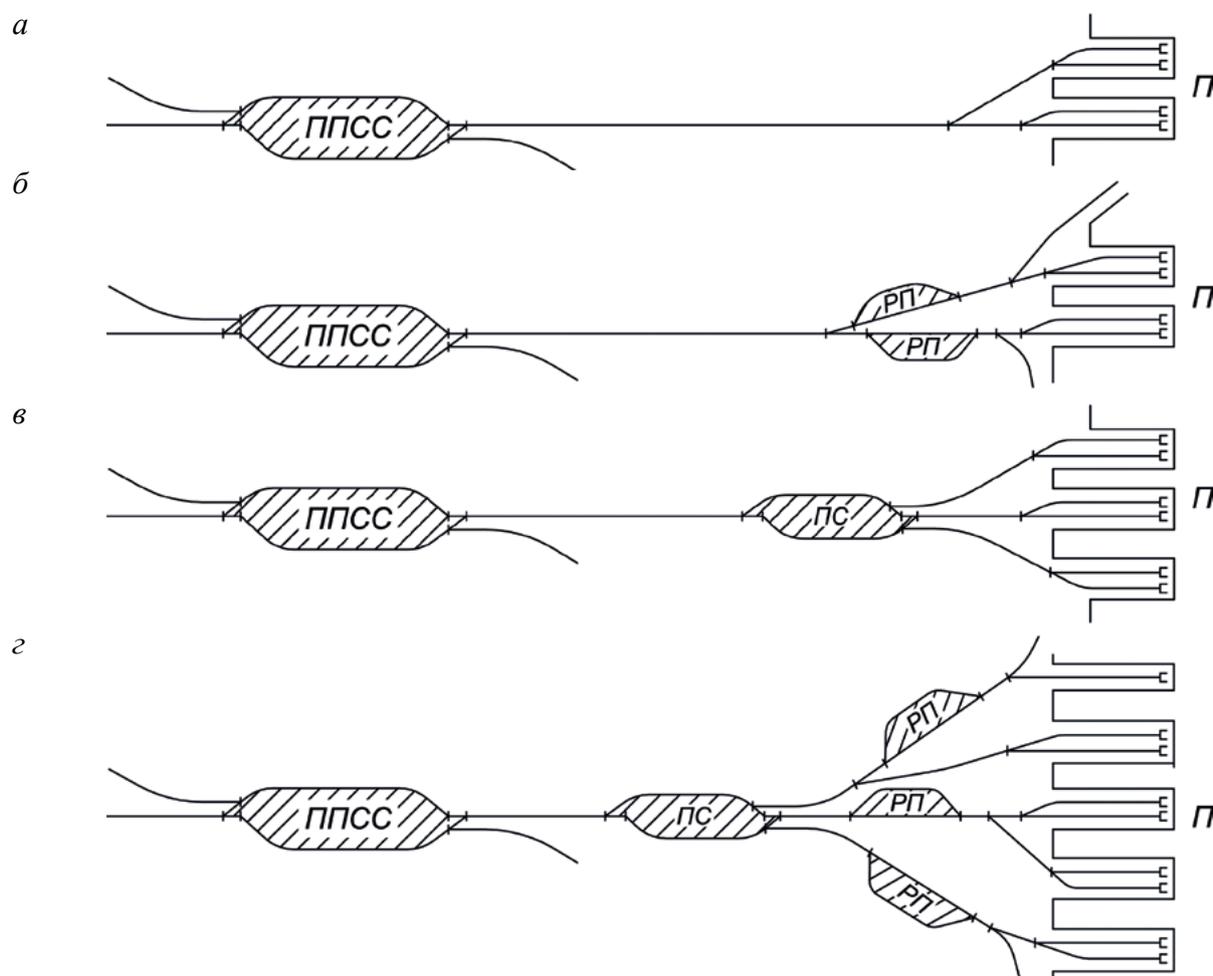


Рис. 1. Схемы вариантов железнодорожного обслуживания портов:

ППСС — предпортовая сортировочная станция; *ПС* — портовая станция; *РП* — районный парк; *П* — порт

рациональности схем взаимного расположения элементов обслуживающей порт железнодорожной инфраструктуры.

Анализ ранее действовавших нормативных документов [5, 6] и учебной литературы [7, 8] показал, что в настоящее время существует четыре принципиальные схемы конфигурации обслуживающей порт железнодорожной инфраструктуры (рис. 1).

Схема, представленная на рис. 1, а, предусматривает обслуживание порта непосредственно с находящейся на удалении предпортовой сортировочной станции. Она рекомендуется к применению при небольшом грузообороте порта и числе причалов менее четырех. Если причалов в порту

четыре и более, то в зависимости от удаленности сортировочной станции от порта, а также расчетных объемов перевалки между железнодорожным и водным транспортом принимается одна из трех оставшихся схем.

Схема, предусматривающая обслуживание порта через районные парки (см. рис. 1, б), считается целесообразной в следующих случаях:

- объем перевалки груза до 10 млн т в год при расстоянии между ППСС и портом до 7–8 км;
- объем перевалки груза до 5 млн т в год при расстоянии между ППСС и портом до 12–13 км.

Если объем перевалки в порту составляет 15 млн т в год и более и расстояние от ППСС не превышает 13 км, к использованию рекоменду-

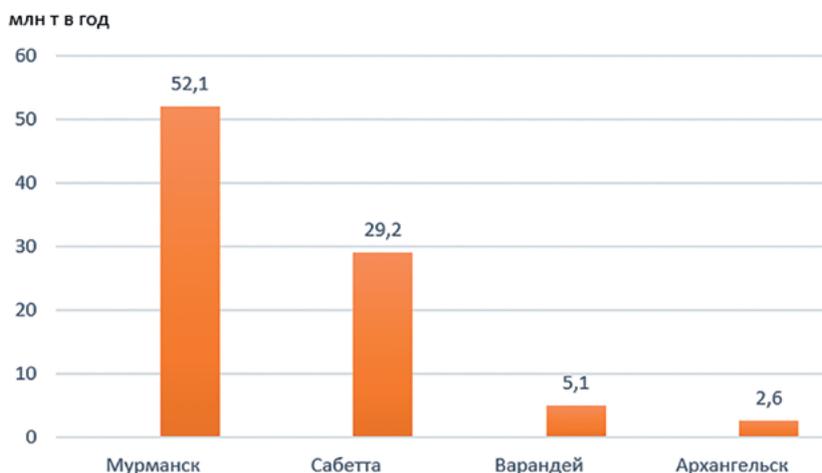


Рис. 2. Грузооборот некоторых портов Арктического бассейна за 2024 г.

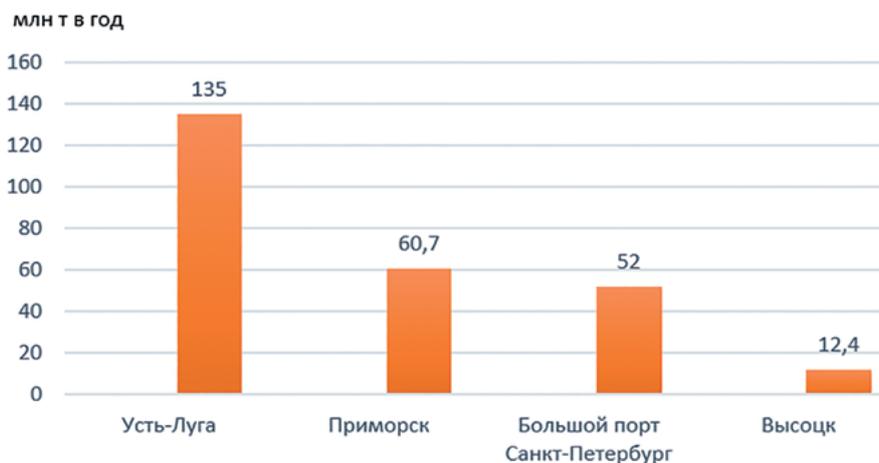


Рис. 3. Грузооборот некоторых портов Балтийского бассейна за 2024 г.

ется схема с работой через портовую станцию (см. рис. 1, в).

Последняя схема (см. рис. 1, г) считается рациональной при большом удалении ППСС от крупного порта, при этом расчетный объем перевалки груза не уточняется.

Из приведенных выше данных можно заключить, что в целом решения по схемам железнодорожного обслуживания портов разработаны на объемы перевалки в порту 15 млн т в год и более, при этом предельно возможные их значения ни нормами проектирования, ни учебной литературой не определены. Анализ реальных данных по грузообороту морских портов России за 2024 год показывает, что существенное их число пре-

вышает объем перевалки в 15 млн т в год, при этом имеются порты (Усть-Луга, Новороссийск и др.), объем работы которых превышает указанное значение в 9–10 раз. На рис. 2–5 приведены диаграммы с объемами грузооборота некоторых портов Арктического, Балтийского, Азово-Черноморского и Дальневосточного бассейнов, составленные в соответствии с данными информационного портала «Морские вести России» [9].

Следует учесть и то обстоятельство, что в настоящее время фактическая технология взаимодействия предпортовой сортировочной станции, портовой станции и районных парков существенно отличается от описанной в технической и учебной литературе.

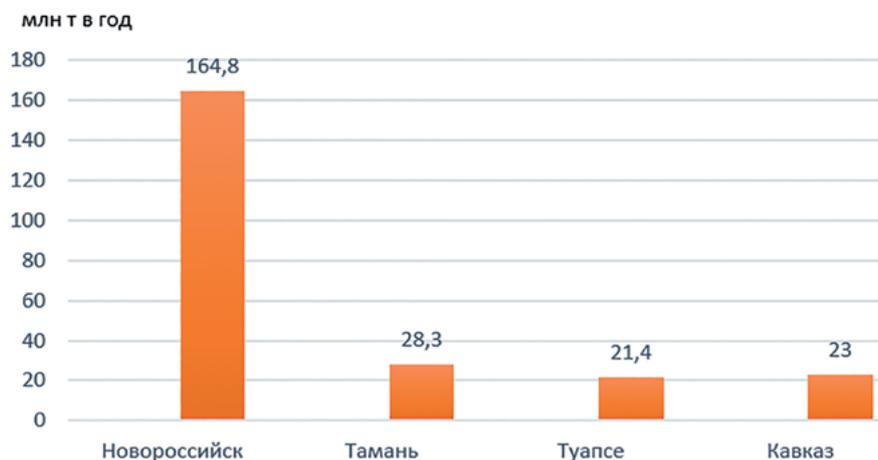


Рис. 4. Грузооборот некоторых портов Азово-Черноморского бассейна за 2024 г.



Рис. 5. Грузооборот некоторых портов Дальневосточного бассейна за 2024 г.

Ранее предполагалось, что поступающий в порт вагонопоток преимущественно немаршрутизирован. Исходя из этого, направление сортировки вагонов выбиралось с подхода с внешней сети в сторону порта. Портовые станции предполагали подбор вагонов по районным паркам. В свою очередь, районные парки занимались подбором вагонов по прикордонным путям причалов. Порожний вагонопоток после выгрузки направлялся в регулировку без дополнительного подбора и переработки.

В современных условиях — в условиях работы частного парка, роста маршрутизации и модернизации портовой инфраструктуры ситуация выглядит следующим образом. Процент марш-

рутизации вагонопотока, поступающего в грузеном состоянии в порт, достигает 80% (например, станция Лужская). Длина фронтов выгрузки зачастую обеспечивает размещение на них всего состава либократно его $\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{3}$, в зависимости от местных условий и конфигурации путевого развития терминала. Таким образом, районные парки сосредоточены в основном на выполнении приемосдаточных операций, технического обслуживания и коммерческого осмотра с прибывающими и отправляемыми поездами.

Маршрутизированный вагонопоток поступает в районные парки поездным порядком с внешней сети, минуя сортировочную станцию. Порожний вагонопоток после выгрузки, как правило,

требует детального подбора по собственникам, а также по категории годности под погрузку. Ввиду лимитированной емкости путевого развития районных парков данные операции по подбору вагонов целесообразно сконцентрировать на предпортовой сортировочной станции.

О целесообразности выноса операций по подбору вагонов из районных парков также свидетельствует то обстоятельство, что вагоны одного типа и одного оператора могут высвобождать из-под груза на разных терминалах порта. В этом случае точкой сборки должен являться сортировочный комплект (сортировочная система), что позволит исключить дублирование одноименных назначений в разных районах порта.

Еще одной важной характерной особенностью существующей структуры грузо- и вагонопотоков портов является почти полное отсутствие двояких грузовых операций. Отдельные попытки использования полувагонов для погрузки контейнеров (для исключения подпитки порожними фитинговыми платформами) не сильно изменяют коэффициент двояких операций и пробег порожнего подвижного состава.

Все изложенные выше условия требуют высокой пропускной и провозной способности соединительных линий между предпортовой сортировочной станцией и районными парками. Приведенные на рис. 1 типовые схемы железнодорожного обслуживания портов с однопутными соединительными линиями между ППСС и РП этому условию не удовлетворяют. Укладка вторых путей не решает вопроса дефицита пропускной способности, так как появятся конфликтные точки (точки пересечения маршрутов) в горловине парка примыкания второго пути на ППСС.

С учетом обозначенной проблемы, а также исходя из того, что типовыми решениями современные порты (в зависимости от местных условий) обустраивают либо перпендикулярно, либо параллельно береговой линии, предлагаются две

схемы компоновки железнодорожной инфраструктуры порта (рис. 6), обеспечивающие высокую пропускную и провозную способность.

Приведенные на рис. 6 схемы разработаны с учетом организации кольцевого движения поездов и внутриузловых передач, что позволяет обеспечить поточность передвижений и минимизацию враждебности маршрутов. Каждая схема предусматривает наличие двух технологических линий: для переработки немаршрутизированного вагонопотока и для сквозного пропуска маршрутов в порт. Обратное преобладает немаршрутизированный вагонопоток, так как необходимо подбирать вагоны по собственникам, категориям годности с учетом их заадресовки под погрузку и необходимости выполнения ремонтов. Представленными схемными решениями немаршрутизированный вагонопоток из терминалов порта возвращается в парк приема предпортовой сортировочной станции.

Перпендикулярное расположение сортировочного комплекта к береговой линии (см. рис. 6, а) обустраивается при достаточной по длине станционной площадке. Расположение основных парков сортировочной станции предусмотрено таким, чтобы обеспечить подбор и сортировку вагонов на выход из порта в соответствии с преобладающим направлением немаршрутизированного вагонопотока. В отдельных случаях при большой дробности сортировки входящего потока в данной схеме может быть предусмотрена вторая сортировочная система, обеспечивающая подбор вагонов по терминалам порта. Маршрутизированный и немаршрутизированный вагонопоток в предлагаемой схеме поступает на терминалы порта против часовой стрелки. В таком же направлении производится и возвращение вагонов из терминалов на сортировочную станцию.

Параллельное расположение сортировочного комплекта по отношению к береговой линии (см. рис. 6, б) отличается в технологии органи-

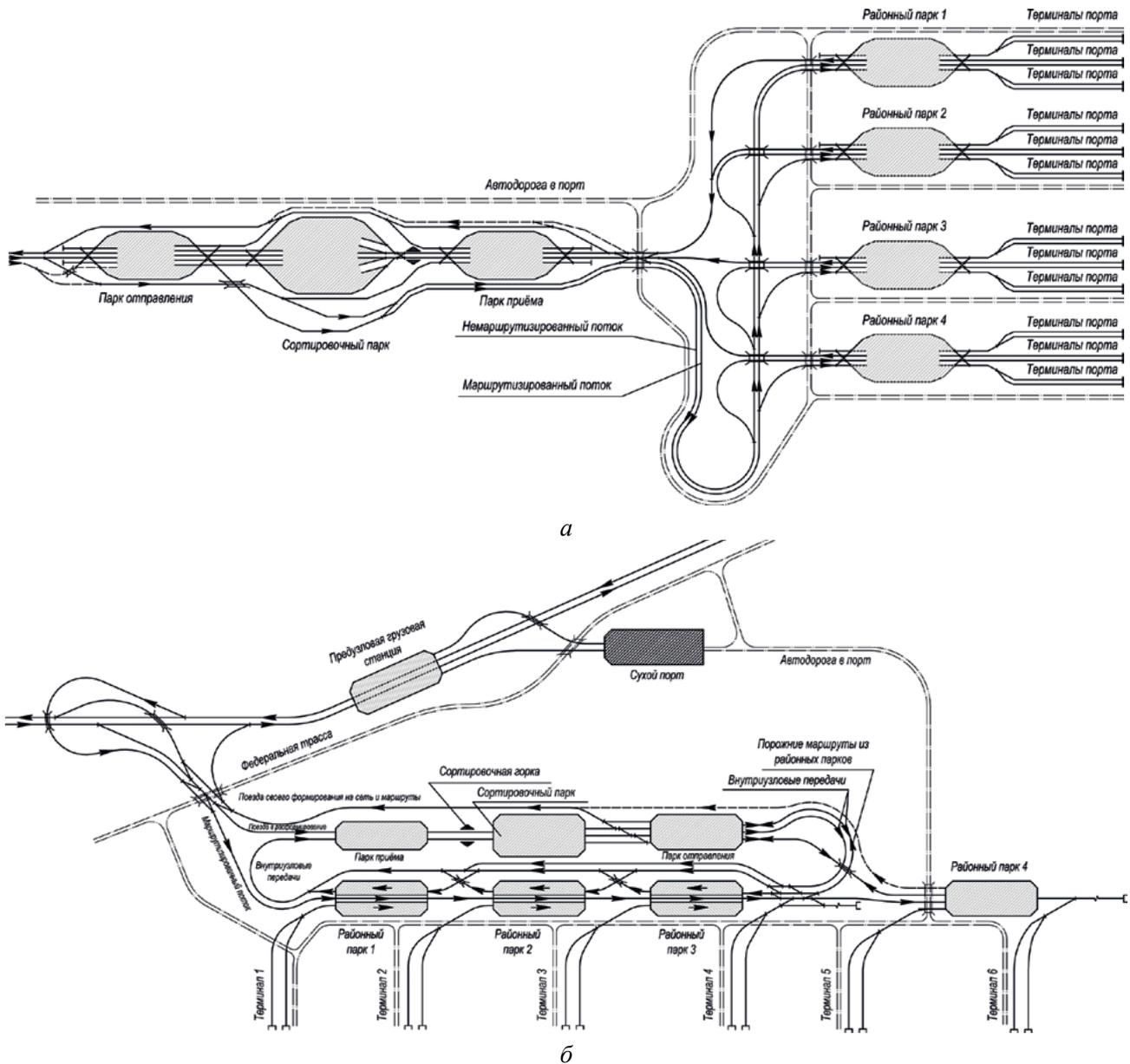


Рис. 6. Схемы компоновки обслуживающей порт железнодорожной инфраструктуры:
 а — перпендикулярно береговой линии; б — параллельно береговой линии

зации кольцевого движения от схемы с перпендикулярным расположением. Маршрутизированный поток будет поступать на терминалы порта в обход сортировочной станции против часовой стрелки. Следующий в направлении порта немаршрутизированный вагонопоток будет заводиться на сортировочную станцию, от которой уже по часовой стрелке будет поступать на портовые терминалы. Выводимый из районных парков порожний подвижной состав продолжает

свое движение по часовой стрелке в парк приема сортировочной станции.

Предложенные схемы позволяют реализовать ориентировочные объемы перевалки в портах до 100–120 млн т в год с минимальными затратами на переработку и пропуск поездов в портовом железнодорожном узле.

К особенностям современных морских портов можно отнести наличие на удалении от них терминалов, работающих по принципу «сухих

портов». Для обслуживания «сухих портов» на ближних и дальних подходах могут сооружаться предузловые грузовые станции (см. рис. 6, б). Обычно «сухие порты» имеют прямой выход на терминалы порта по обычной железной дороге, при этом технологически предусматривается возможность организации блок-поездов и автомобильной дороги, как правило, 1-й категории, для объемов перевозки до 40 млн т в год. При наличии «сухого порта» на контейнерном терминале непосредственно в порту, как правило, организуется только оперативная зона для накопления судовой партии и выгрузки контейнеров для прибывающих судов. Складская зона со стеками для накопления контейнеров по назначениям организуется в «сухом порте». Доставка контейнеров в порт в оперативную зону осуществляется либо блок-трейнами (работающими по принципу закольцованных маршрутов-вертушек), либо автотранспортом, либо комбинировано. Предузловая станция, обслуживающая «сухой порт», должна иметь специальный накопительный парк для создания резерва фитинговых платформ.

На основании изложенного можно заключить следующее:

1. Для содержащихся в технической и учебной литературе схемных решений железнодорожного обслуживания портов не установлена четкая граница расчетных объемов перевалки грузов между железнодорожным и водным транспортом. Содержащиеся в рассмотренных источниках [5–8] данные позволяют заключить, что предусмотренный ими перерабатываемый грузооборот портов может превышать 15 млн т в год, но не кратно.

2. Анализ объемов перевалки некоторых портов Арктического, Балтийского, Азово-Черноморского и Дальневосточного бассейнов показал, что имеются морские порты, объемы перевалки которых превышают 15 млн т в год в 9–10 раз.

3. В имеющихся типовых схемах железнодорожного обслуживания портов (см. рис. 1)

сортировочная станция с портовой станцией и с районными парками соединяется однопутными перегонами. Доработка этих схем с учетом строительства вторых путей на перегонах для освоения больших объемов грузооборота нерациональна, так как вызовет усложнение конструкций горловин с наличием большого количества враждебных пересечений. Таким образом, своевременным становится вопрос о разработке новых схем железнодорожного обслуживания портов при больших объемах перевалки.

4. С учетом объемов перевалки в ряде портов более 100 млн т в год при разработке новых схем железнодорожного обслуживания портов следует исходить из обеспечения поточности передвижения поездов и передач между сортировочной станцией и терминалами. Такую поточность можно обеспечить в результате организации кольцевого движения в портовом узле.

5. В современных условиях направление сортировки вагонов должно выбираться из порта на внешнюю сеть, что согласуется с направлением следования преимущественно перерабатываемого вагонопотока и снижает пробег вагонов в пределах транспортного узла.

6. Терминалы, работающие по технологии «сухой порт» и обслуживающие их грузовые станции, становятся неотъемлемым элементом транспортной инфраструктуры и должны учитываться при разработке типовых схемных решений. Помимо железнодорожной составляющей в составе типовых решений следует предусматривать автомобильные дороги для обеспечения перевозок между терминалами порта и «сухим портом».

В статье предложены две новые схемы компоновки обслуживающей порт железнодорожной инфраструктуры, позволяющие обеспечить расчетный грузооборот порта — 100 млн т в год и более. В последующем при издании нормативной и учебной литературы приведенные на рис. 6 схемы могут быть использованы в качестве типовых решений.

Список источников

1. Рыбин П. К. Особенности развития припортовых железнодорожных узлов: оптимизация инфраструктурных решений и технология взаимодействия видов транспорта / П. К. Рыбин, М. В. Четчуев // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». — 2022. — № 7. — С. 68–71.

2. Четчуев М. В. Оценка экономической целесообразности применения вариантов перевалки груза в смешанном железнодорожно-водном сообщении / М. В. Четчуев, В. Г. Четчуева // Транспорт России: проблемы и перспективы — 2018: материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13–14 ноября 2018 года. — Т. 1. — СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2018. — С. 105–108.

3. Иванкова Л. Н. Принципы взаимодействия транспорта при проектировании «сухих портов» / Л. Н. Иванкова, А. Н. Иванков, А. Д. Шобухов; под общ. ред. Г. М. Биленко, И. А. Трушиной // Современные методы и принципы управления перевозочным процессом на транспорте: сборник трудов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 17–18 мая 2023 года. — М.: Российский университет транспорта, 2023. — С. 115–120.

4. Иванкова Л. Н. Влияние способов обслуживания морских портов железнодорожным транспортом на путевое развитие припортовых станций / Л. Н. Иванкова, А. Н. Иванков, М. Ю. Герасимова, А. М. Орлов // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: межвузовский сборник научных трудов. — М.: Российский университет транспорта, 2022. — С. 52–57.

5. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм

(утв. заместителем министра путей сообщения РФ С. А. Гришиным 28.07.2000 № ЦД-858). — М.: Техинформ, 2001. — 255 с.

6. Проектирование железнодорожных станций и узлов: справочное и методическое руководство / Под ред. А. М. Козлова, К. Г. Гусевой. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1980. — 592 с.

7. Апатцев В. И. Железнодорожные станции и узлы: учебник / В. И. Апатцев, Ю. И. Ефименко, Н. В. Правдин, С. П. Вакуленко и др. — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2014. — 855 с.

8. Сабодаш О. А. План морского порта: в 4 ч. Ч. 2. Оборудование морского порта: учебное пособие для вузов / О. А. Сабодаш, П. С. Корнюшин. — Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2022. — 55 с.

9. Грузооборот морских портов России за 2024 год сократился на 2,3 % // Морские вести России. — URL: <https://morvesti.ru/news/1679/113541/> (дата обращения: 12.07.2025).

Дата поступления: 17.07.2025

Решение о публикации: 21.08.2025

Контактная информация:

РЫБИН Петр Кириллович — канд. техн. наук, доц.;
rybin@pgups.ru

ЧЕТЧУЕВ Максим Владимирович — канд. техн. наук,
доц.; mts@pgups.ru

ИВАНКОВ Алексей Николаевич — канд. техн. наук,
доц.; aivankov@yandex.ru

ВИННИК Андрей Дмитриевич — аспирант;
geforcepio@gmail.com

New Principles for the Layout of Railway Infrastructure Serving Seaports

P. K. Rybin¹, M. V. Chetchuev¹, A. N. Ivankov², A. D. Vinnik¹

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²“PSK Techproekt” LLC., 21, bld. 1, office 305, 3rd Krasnoselsky per., Moscow, 107140, Russian Federation

For citation: Rybin P. K., Chetchuev M. V., Ivankov A. N., Vinnik A. D. New Principles for the Layout of Railway Infrastructure Serving Seaports // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 3, pp. 584–593. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-584-593

Summary

Purpose: The design solutions and layout principles of the railway infrastructure serving the ports contained in the technical and educational literature have not been revised for a considerable period. Significant changes have occurred, in terms of both the organization of the work of railway transport, and its interaction with water transport. Furthermore, the noteworthy escalation in transshipment volumes across numerous seaports should be given due consideration. These circumstances necessitate a thorough revision and updating of the current principles that govern the configuration of railway infrastructure serving ports. **Methods:** The studies were conducted using a retrospective and system analysis of the schemes and principles of the railway infrastructure layout around seaports, as well as the port node operation technologies. **Results:** The existing standard solutions are inadequate in terms of cargo turnover in several Russian seaports. It has been determined that the development of new layout schemes for railway infrastructure with significant port cargo turnover should be undertaken with consideration for the flow of train and shunting movements. It has been determined that current principles for organizing the work of connecting points involve the arrangement of “dry ports”, the presence of which is not provided for by the existing design solutions. **Practical significance:** Proposed changes to the layout of the railway infrastructure servicing the seaports have been formulated. Implementation of these proposals will create new standard solutions.

Keywords: Railway station, seaport, terminal, transshipment volume, scheme/layout solutions, traffic management.

References

1. Rybin P. K., Chetchuev M. V. Osobennosti razvitiya priportovykh zheleznodorozhnykh uzlov: optimizatsiya infrastrukturykh resheniy i tekhnologiya vzaimodeystviya vidov transporta [Features of the development of port railway junctions: optimization of infrastructure solutions and technology of interaction between modes of transport]. *Byulleten' uchenogo soveta AO "IERT"* [Bulletin of the Scientific Council of JSC "IERT"]. 2022, Iss. 7, pp. 68–71. (In Russian)

2. Chetchuev M. V., Chetchueva V. G. Otsenka ekonomicheskoy tselesoobraznosti primeneniya variantov perevalki gruzha v smeshanom zheleznodorozhno-vodnom

soobshchenii [Assessment of the economic feasibility of using cargo transshipment options in mixed railway and water transport]. *Transport Rossii: problemy i perspektivy — 2018: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Transport of Russia: problems and prospects — 2018: materials of the international scientific and practical conference. Saint Petersburg, November 13–14, 2018]. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskiy universitet Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby Ministerstva Rossiyskoy Federatsii po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy Publ., 2018, vol. 1, pp. 105–108. (In Russian)

3. Ivankova L. N., Ivankov A. N., Shobukhov A. D. Printsipy vzaimodeystviya transporta pri proektirovani "sukhikh portov" [Principles of transport interaction in the design of "dry ports"]. *Sovremennye metody i printsipy upravleniya perevoznym protsessom na transporte: sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Moskva, 17–18 maya 2023 goda* [Modern methods and principles of transportation process management in transport: collection of scientific and practical conference proceedings with international participation, Moscow, May 17–18, 2023]. Moscow: Rossiyskiy universitet transporta Publ., 2023, pp. 115–120. (In Russian)
4. Ivankova L. N., Ivankov A. N., Gerasimova M. Yu., Orlov A. M. Vliyaniye sposobov obsluzhivaniya morskikh portov zheleznodorozhnym transportom na putevoe razvitiye priportovykh stantsiy [Influence of methods of servicing seaports by railway transport on track development of port stations]. *Sovremennye problemy sovershenstvovaniya raboty zheleznodorozhnogo transporta: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Modern problems of improving the operation of railway transport: interuniversity collection of scientific works]. Moscow: Rossiyskiy universitet transporta Publ., 2022, pp. 52–57. (In Russian)
5. *Pravila i tekhnicheskie normy proektirovaniya stantsiy i uzlov na zheleznykh dorogakh kolei 1520 mm (utv. zamestitelem ministra putey soobshcheniya RF S. A. Grishinym 28.07.2000 № TsD-858)* [Rules and Technical Standards for the Design of Stations and Junctions on 1520 mm Gauge Railways (approved by Deputy Minister of Railways of the Russian Federation S. A. Grishin on July 28, 2000, No. CD-858)]. Moscow: Tekhinform Publ., 2001, 255 p. (In Russian)
6. *Proektirovaniye zheleznodorozhnykh stantsiy i uzlov: spravochnoe i metodicheskoe rukovodstvo; pod red. A. M. Kozlova, K. G. Gusevoy, 2-e izd., pererab. i dop.* [Design of Railway Stations and Junctions: Reference and Methodological Guide; ed. by A. M. Kozlov, K. G. Guseva, 2nd ed., revised and enlarged]. Moscow: Transport Publ., 1980. 592 p. (In Russian)
7. Apatsev V. I., Efimenko Yu. I., Pravdin N. V., Vakulenko S. P. et al. *Zheleznodorozhnye stantsii i uzly: uchebnik* [Railway stations and nodes: textbook]. Moscow: Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport Publ., 2014. 855 p. (In Russian)
8. Sabodash O. A., Korniyushin P. S. *Plan morskogo porta: v 4 ch. Ch. 2. Oborudovaniye morskogo porta: uchebnoye posobie dlya vuzov* [Port plan: in 4 parts. Part 2. Equipment of the seaport: textbook for universities]. Vladivostok: Izdatel'stvo Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta Publ., 2022. 55 p. (In Russian)
9. Gruzooborot morskikh portov Rossii za 2024 god sokratilsya na 2,3% [The cargo turnover of Russian seaports decreased by 2.3% in 2024]. *Morskie vesti Rossii* [Russian Maritime News]. Available at: <https://morvesti.ru/news/1679/113541/> (accessed: July 12, 2025). (In Russian)

Received: July 17, 2025

Accepted: August 21, 2025

Author's information:

Petr K. RYBIN — PhD in Engineering, Associate Professor; rybin@pgups.ru

Maksim V. CHETCHUEV — PhD in Engineering, Associate Professor; mts@pgups.ru

Alexey N. IVANKOV — PhD in Engineering, Associate Professor; aivankov@yandex.ru

Andrey D. VINNIK — Postgraduate Student; geforcepio@gmail.com