

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА БРИГАД УБОРЩИКОВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ НА ПРИЕМО-ОТПРАВОЧНЫХ ПУТЯХ ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ

Время обслуживания поездов (визуальный осмотр, уборка мусора и сухая уборка вагонов, дозаправка воды, проверка санузлов, технический осмотр ходовой части, тормозной системы и колесных пар, устранение мелких неисправностей) на приемо-отправочных путях пассажирской станции должно быть минимальным. В статье предлагается принципиально новый подход к расчету потребного числа бригад уборщиков для обслуживания высокоскоростных поездов по обороту на приемо-отправочных путях пассажирской станции.



Е.Б. Куликова

Ключевые слова: высокоскоростная магистраль, обслуживание высокоскоростных поездов, уборка высокоскоростного подвижного состава, бригада уборщиков

EDN: TPCSUW

Ведущие страны мира, имеющие многолетний опыт эксплуатации высокоскоростных магистралей (ВСМ) на железнодорожном транспорте, постоянно работают над совершенствованием организации инженерно-технологических мероприятий, позволяющих максимально эффективно использовать инфраструктуру ВСМ, высокоскоростной подвижной состав и персонал, обслуживающий высокоскоростной подвижной состав. Особое внимание заслуживают технологии, применяемые на конечных пассажирских станциях, где при подготовке подвижного состава в рейс все процессы максимально автоматизированы и поддерживаются высокотехнологичным оборудованием, позволяющим минимизировать время, затрачиваемое на операции с подвижным составом. Невероятную точность и скорость подготовки составов в рейс должен обеспечивать квалифицированный

персонал, отвечающий не только за посадку-высадку пассажиров на борт, но и уборку составов [2–5]. Например, известные команды «семиминутных уборщиков» (Shinkansen Cleaners) на железных дорогах Японии специализируются на максимально быстрой уборке составов высокоскоростных поездов [6]. Их задача за 7 минут очистить весь состав, включая удаление мусора, подметание, чистку сидений и приведение вагонов в порядок. Сотрудники проходят тщательное обучение и постоянно тренируются для выполнения операций в предельно короткие сроки.

Минимальное время подготовки состава высокоскоростного поезда в рейс на приемо-отправочных путях (далее — ПОП) пассажирской станции обеспечивает не только эффективное использование подвижного состава, сокращение непроизводительных пробегов при его перестановке в технические парки

Куликова Екатерина Борисовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация пассажирских перевозок в дальнем и пригородном сообщении, скоростных и высокоскоростных перевозок пассажиров на железнодорожном транспорте, требования к инфраструктуре пассажирского комплекса (остановочным пунктам, объектам пассажирских обустройств), технология работы вокзальных комплексов и транспортных пересадочных узлов (комплексов), логистика пассажирских перевозок и взаимодействие различных видов транспорта, стандартизация качества обслуживания пассажиров на железнодорожном транспорте, пассажирские перевозки в международном сообщении. Автор 35 научных работ, в том числе 15 учебных пособий.

и уборке на пути отстоя, ритмичный график отправления и прибытия поездов, но минимальное время занятия ПОП (путей отстоя), эффективно используя инфраструктуру как пассажирской, так и пассажирской технической станции [7].

Строительство пассажирских станций тупикового типа на ВСМ-1 в стесненных городских условиях и этапность поставки высокоскоростного подвижного состава при ожидаемо высоком пассажиропотоке на участке Москва—Санкт-Петербург, обозначают большое количество технологических задач, требующих поиска решений для обеспечения максимально эффективной организации использования всех ресурсов. Одной из таких задач является определение количества бригад уборщиков, задействованных при подготовке составов высокоскоростных поездов в рейс на ПОП пассажирской станции без перестановки в технические парки и на пассажирские технические станции.

Методика расчета

Определим необходимое количество бригад уборщиков для обслуживания составов высокоскоростных поездов по обороту, простаивающих на ПОП все время нахождения на конечной станции. Бригады уборщиков не специализированы и производят уборку в высокоскоростном поезде по прибытию. Уборка должна быть завершена до момента отправления поезда со станции. Нормативное время на ее проведение составляет $t_{уб}$. Задано расписание прибытия $t_{приб i}^{об}$ и расписание отправления высокоскоростных поездов $t_{отпр i}^{об}$. Пусть всего за рассматриваемый период прибывает $n^{об}$ поездов.

Для произвольного i -го высокоскоростного поезда (по обороту), не перемещаемого во время нахождения его на станции с ПОП, число занятых им ПОП составляет величину 1 на отрезке временной оси с момента прибытия на станцию по расписанию (скорректированного на время $t_{приб}^{опер}$ — время от момента открытия разрешающего показания светофора для приема на ПОП до момента прибытия — остановки поезда) до момента фактического освобождения ПОП поездом, т.е. времени отправления поезда по расписанию (скорректированного на время $t_{отпр}^{опер}$ — время от момента трогания поезда до момента, разрешающего использование этого пути для приема других поездов).

Вне пределов описанного выше отрезка времени число занятых ПОП для этого поезда равно 0. Путь считается незанятым i -м поездом.

Аналитически эта величина имеет следующий вид:

$$k_{i \text{ зан}}^{\text{ПОП}}(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t_{приб i}^{об} - t_{приб}^{опер} \leq t \leq t_{отпр i}^{об} + t_{отпр}^{опер} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (1)$$

Графически эта величина показана на рис. 1.

Формулу (1) можно представить для i -го состава высокоскоростного поезда (по обороту) в следующем виде:

$$k_{i \text{ зан}}^{\text{ПОП об}}(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t_{приб i}^{об \text{ ВП}} \leq t \leq t_{отпр i}^{об \text{ ВП}} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2)$$

т.е. время скорректировано на чистое время стоянки поезда по обороту при исключении времени занятия пути, связанного с прибытием и отправлением поезда.

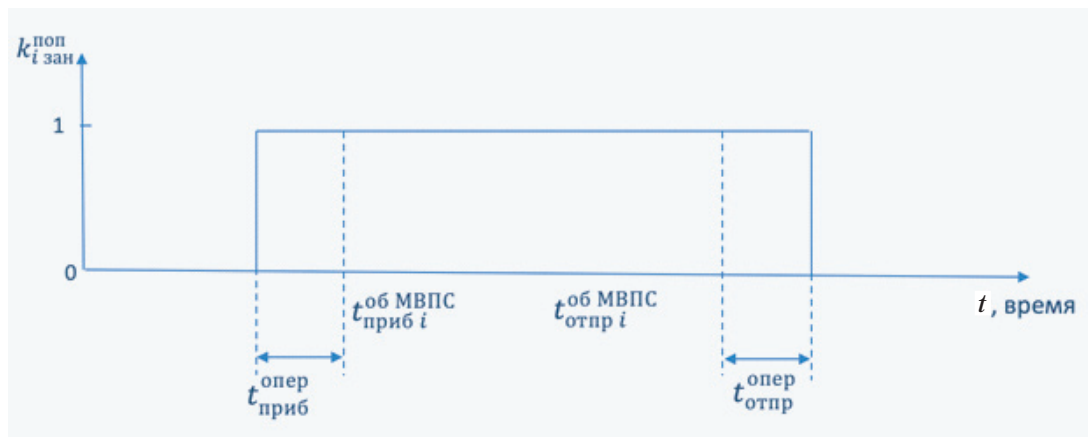


Рис. 1. Изменение во времени занятости пути (ПОП) на станции высокоскоростным поездом по обороту

Рассмотрим следующие случаи расчета числа бригад уборщиков

1. В период интенсивного движения высокоскоростных поездов время простоя по обороту рассчитывается, исходя из минимального, лимитированного временем высадки и посадки пассажиров, с одной стороны, и технологическим временем на осуществление уборки поезда $t_{уб}$, с другой. При этом

$$t_{высад i} + t_{посад i} = t_{уб} . \quad (3)$$

Потребное количество бригад уборщиков на временном интервале стоянки i -го высокоскоростного поезда

$(\min(t_{отпр i}^{об ВП}, t_{приб i+1}^{об ВП}) - t_{приб i}^{об МВПС})$ определяется при $i=1$ $k_{бр1}^{потр} = 1$,

$$\text{при } 1 < i \leq n^{об} \quad k_{бр i}^{потр} = 1 + \sum_{j=1}^{i-1} k_{бр j}^{доп} , \quad (4)$$

где
$$k_{бр j}^{доп} = \begin{cases} 1, & \text{если } t_{приб i}^{обор ВП} < t_{отпр j}^{обор ВП} \quad \forall i=1, \dots, n^{об}, j=1, \dots, n^{об}, j < i, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

Номера поездам присвоены в соответствии с временами прибытия на временной оси в возрастающем порядке.

На рис. 2 представлены результаты расчета потребного числа бригад уборщиков для заданного расписания прибытия и отправления высокоскоростных поездов по обороту ($k_{бр i}^{потр}$).

$$\begin{aligned} k_{бр1}^{потр} &= 1 ; \\ k_{бр2}^{потр} &= 1 + \sum_{j=1}^1 1 = 2; \\ k_{бр3}^{потр} &= 1 + \sum_{j=1}^2 k_{бр j}^{доп} = 1 + (0+1) = 2; \\ k_{бр4}^{потр} &= 1 + \sum_{j=1}^3 k_{бр j}^{доп} = 1 + (0+0+0) = 1; \\ k_{бр5}^{потр} &= 1 + \sum_{j=1}^4 k_{бр j}^{доп} = 1 + (0+0+0+1) = 2; \\ k_{бр6}^{потр} &= 1 + \sum_{j=1}^5 k_{бр j}^{доп} = 1 + (0+0+0+1+1) = 3; \\ k_{бр7}^{потр} &= 1 + \sum_{j=1}^6 k_{бр j}^{доп} = 1 + (0+0+0+1+1+1) = 4. \end{aligned}$$

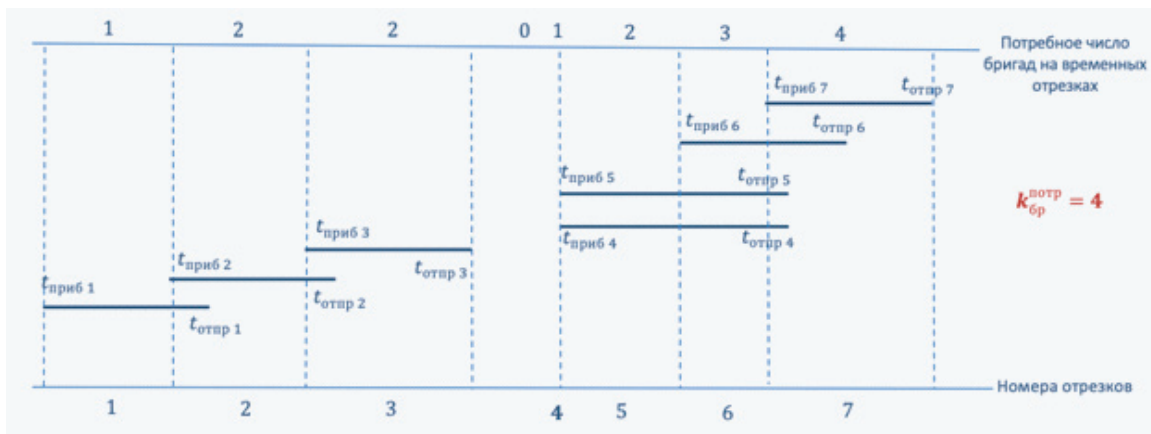


Рис. 2. Графическая иллюстрация к расчету потребного числа бригад уборщиков

В соответствии с приведенным выше алгоритмом расчетов определено количество бригад уборщиков при приеме-отправлении семи высокоскоростных поездов за рассматриваемый период времени. Величина отдельных отрезков времени ограничена временем прибытия и временем либо прибытия следующего поезда, либо временем отправления рассматриваемого поезда, если оно меньше времени прибытия следующего. Интервал времени между третьим и четвертым поездом «выпадает» из расчетов (в течение этого интервала отсутствует потребность в уборке поездов). Четвертый интервал «вырождается» в точку ввиду того, что время прибытия 4-го и 5-го поездов одинаковое. Потребное число бригад уборщиков для всего периода, рассматриваемого как единого периода работы (смены), равно 4.

Потребное число бригад уборщиков за рассматриваемый период (любой рассматриваемый временной интервал) будет определяться максимальным значением из всех рассчитанных $(n^{об}-1)$ величин

$$k_{бр}^{потр} = \max_{i=1, \dots, n_{об}} k_{бri}^{потр}. \quad (6)$$

Возможна передислокация бригад уборщиков в течение рабочих смен для проведения уборок в поездах своего формирования по мере их высвобождения по окончании интенсивного периода прибытия-отправления высокоскоростных поездов по обороту.

2. Более общим случаем является расчет потребного числа бригад уборщиков в случае, когда поезда по обороту находятся на ПОП по времени больше, чем технологическое время, определенное на уборку состава, т.е.

$$t_{отпр i}^{об ВП} - t_{приб i}^{об ВП} > t_{уб}. \quad (7)$$

В этом случае время окончания уборки может быть меньше времени отправления поезда и в отдельных случаях это может привести к уменьшению потребного числа бригад. В расчетных формулах (4–6) это отражается заменой величины $t_{отпр i}^{об ВП}$ на величину $(t_{приб i}^{об ВП} + t_{уб})$.

То есть в отдельные интервалы времени может произойти уменьшение потребного числа бригад уборщиков, а в конечном итоге и к уменьшению этого числа для рассматриваемого временного периода.

Оба приведенных алгоритма расчета не предполагают случая работы одной бригады уборщиков в условиях длительного простоя поездов на станции. Они рассчитаны на условие: «первым пришел — первым был обслужен».

Работу бригады уборщиков в условиях длительных простоев поездов можно оптимизировать из расчета выполнения заданного объема работы путем выбора последовательности уборок простаивающих поездов с учетом расписания прибытия и отправления с целью рационализации использования рабочего времени бригады.

Пусть в рассматриваемом временном периоде T_p присутствует $n_{об}^{Tp}$ поездов, стоящих на простое. То есть времена прибытия всех этих поездов $t_{приб}$ принадлежат периоду T_p . Расчетный период может быть ограничен временем работы смены бригад уборщиков $t_{раб}$.

Период не обязательно должен заканчиваться в момент времени отправления поезда с самым большим (из всех n поездов) временем отправления. Но рассматриваемый период должен быть не меньше времени работы смены $t_{раб}$.

Т.е. расчетный период:

$$T_p = \max_{i=1, \dots, n} t_{отпр i} - \min_{i=1, \dots, n} t_{приб i}. \quad (8)$$

Если таких обособленных периодов нет и $T_p = T - \min_{i=1, \dots, n} t_{приб i}$, где T — время окончания расчетного периода (смены), а $t_{приб i}$ — может быть заменена на время начала смены.

Для решения задачи необходимо проверить выполнение необходимого условия (т.е. условие того, что за расчетный период T_p работа может быть выполнена одной бригадой уборщиков):

$$\max_{i=1, \dots, n} t_{отпр i} - \min_{i=1, \dots, n} t_{приб i} - T_{нераб} \geq n_{об}^{Tp} \cdot t_{уб}, \quad (9)$$

где $T_{нераб}$ — суммарное время простоя бригады уборщиков в течение расчетного периода ввиду отсутствия поездов, требующих уборки.

Рассмотрим порядок определения величины $T_{нераб}$ в общем случае при работе $k_{бр}^{потр}$ и математическое выражение необходимого условия выполнения заданного объема работы бригадами уборщиков в течение расчетного периода времени.

«МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА БРИГАД УБОРЩИКОВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ НА ПРИЕМО-ОТПРАВОЧНЫХ ПУТЯХ ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ»

При заданном расписании прибытия-отправления поездов по обороту, находящихся на ПОП и требующих уборки, могут образовываться периоды времени вынужденного простоя бригад. Графическая иллюстрация таких периодов времени показана на рис. 3: в интервал времени между отправлением третьего и прибытием четвертого поезда не требуется работа бригад уборщиков.

Условия для образования такого интервала:

$$t_{\text{приб } 4}^{\text{об}} > t_{\text{отпр } 3}^{\text{об}}$$

в общем случае

$$t_{\text{приб } j}^{\text{об}} > t_{\text{отпр } i}^{\text{об}} \quad \forall j > i, i = 1, \dots, n_{\text{об}}^{T_p}, j = 1, \dots, n_{\text{об}}^{T_p}, \quad (10)$$

где $n_{\text{об}}^{T_p}$ — общее число поездов по обороту, прибывших в расчетный период.

Величина периода вынужденного простоя, представленного на рис. 3, равна:

$$T_{\text{нераб}} = t_{\text{приб } 4}^{\text{об}} - t_{\text{отпр } 3}^{\text{об}} \quad \text{и} \quad t_{\text{приб } 1}^{\text{об}} > 0, \quad (11)$$

где под нулем понимается временная точка начала отсчета расчетного периода (время начала рабочей смены бригады уборщиков).

В общем случае:

$$T_{\text{нераб}} = \sum_{i \in \Omega} (t_{\text{приб } i+1}^{\text{об}} - t_{\text{отпр } i}^{\text{об}}), \quad (12)$$

где Ω — подмножество номеров поездов по обороту из всего множества номеров $1, \dots, n_{\text{об}}^{T_p}$, прибывших в расчетный период, для которых выполняется условие (10).

Тогда формула (9) принимает вид:

$$T_p - T_{\text{нераб}} \geq \frac{n_{\text{об}}^{T_p} \cdot t_{\text{уб}}}{k_{\text{бр}}^{\text{потр}}}. \quad (13)$$

$$\text{Отсюда } k_{\text{бр}}^{\text{потр}} = \left\lceil \frac{n_{\text{об}}^{T_p} \cdot t_{\text{уб}}}{T_p - T_{\text{нераб}}} \right\rceil + 1,$$

где $[X]$ — целая часть числа X (см. рис. 3).

При заданных временах прибытия и отправления всех $n_{\text{об}}^{T_p}$ поездов в расчетном периоде $t_{\text{приб } i}$ и $t_{\text{отпр } i}$, $i = 1, \dots, n_{\text{об}}^{T_p}$ и время уборки $t_{\text{уб}}$.

Поставленная задача решается при следующих ограничениях:

- диапазон времени начала уборки поездов должен обеспечивать завершение этой уборки до момента времени отправления поезда со станции:

$$t_{\text{нач раб } i} \geq t_{\text{приб } i}, \quad t_{\text{нач раб } i} \leq t_{\text{отпр } i} - t_{\text{уб}} \quad \forall i = 1, \dots, n_{\text{об}}^{T_p}; \quad (14)$$

- в любой момент времени бригада должна проводить уборку только в одном поезде:

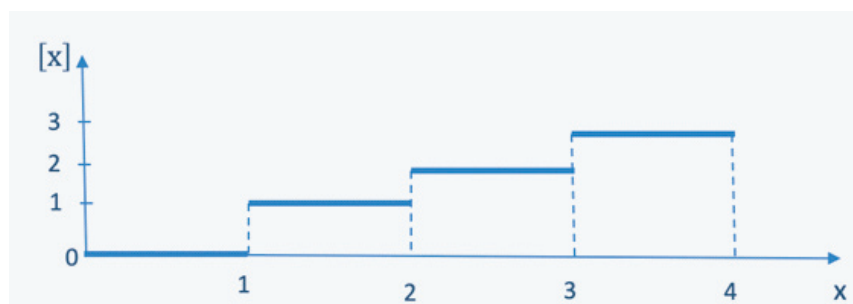


Рис. 3. Графическая иллюстрация функции $[X]$ — целая часть числа X

$$t_{\text{нач раб } i} + t_{\text{раб}} \leq t_{\text{нач раб } j} \quad \forall i=1, \dots, n_{\text{об}}^{Tp} \quad j=1, \dots, n_{\text{об}}^{Tp}, \quad i \neq j, j > i. \quad (15)$$

Критериальная линейная функция должна обеспечивать минимально возможные непроизводительные простои бригады с целью наиболее высокой производительности работы бригады в течение расчетного периода времени:

$$\sum_{i=1}^{n_{\text{об}}^{Tp}} \sum_{j=1}^{n_{\text{об}}^{Tp}} (t_{\text{нач раб } j} - t_{\text{нач раб } i} - t_{\text{уб}}) \quad i \neq j, j > i. \quad (16)$$

Рассмотрим пример расчетов для схемы, показанной на рис. 4.

Пусть заданы времена прибытия-отправления поездов, показанные на рис. 5. Вариант исходных данных

1:

$$\begin{aligned} t_{\text{приб } 1} &= 0 & t_{\text{приб } 2} &= 1,5 \text{ час} & t_{\text{приб } 3} &= 3 \text{ час} \\ t_{\text{отпр } 1} &= 2 \text{ час} & t_{\text{отпр } 2} &= 6 \text{ час} & t_{\text{отпр } 3} &= 3,5 \text{ час} \end{aligned}$$

Время уборки – 0,25 час.

Критериальная функция, минимум которой требуется найти, имеет вид:

$$(t_{\text{нач раб } 2} - t_{\text{нач раб } 1} - t_{\text{уб}}) + (t_{\text{нач раб } 3} - t_{\text{нач раб } 1} - t_{\text{уб}}) + (t_{\text{нач раб } 3} - t_{\text{нач раб } 2} - t_{\text{уб}}) = 2t_{\text{нач раб } 3} - 2t_{\text{нач раб } 1} - 3t_{\text{уб}}.$$

Рассмотрим вид ограничений для данного примера:

$$\begin{aligned} t_{\text{нач раб } 1} &\geq t_{\text{приб } 1} & t_{\text{нач раб } 2} &\geq t_{\text{приб } 2} & t_{\text{нач раб } 3} &\geq t_{\text{приб } 3} \\ t_{\text{нач раб } 1} &\leq t_{\text{отпр } 1} - t_{\text{уб}} & t_{\text{нач раб } 2} &\leq t_{\text{отпр } 2} - t_{\text{уб}} & t_{\text{нач раб } 3} &\leq t_{\text{отпр } 3} - t_{\text{уб}} \\ t_{\text{нач раб } 1} + t_{\text{уб}} &\leq t_{\text{нач раб } 2} & t_{\text{нач раб } 1} + t_{\text{уб}} &\leq t_{\text{нач раб } 3} & t_{\text{нач раб } 2} + t_{\text{уб}} &\leq t_{\text{нач раб } 3} \end{aligned}$$

В цифровом изображении:

$$\text{Критериальная функция} - 2t_{\text{нач раб } 3} - 2t_{\text{нач раб } 1} - 0,75;$$

Ограничения –

$$\begin{aligned} t_{\text{нач раб } 1} &\geq 0 & t_{\text{нач раб } 2} &\geq 1,5 & t_{\text{нач раб } 3} &\geq 3 \\ t_{\text{нач раб } 1} &\leq 1,75 & t_{\text{нач раб } 2} &\leq 5,75 & t_{\text{нач раб } 3} &\leq 3,25 \\ t_{\text{нач раб } 1} + 0,25 &\leq t_{\text{нач раб } 2} & t_{\text{нач раб } 1} + 0,25 &\leq t_{\text{нач раб } 3} & t_{\text{нач раб } 2} + 0,25 &\leq t_{\text{нач раб } 3} \end{aligned}$$

Результат: $t_{\text{нач раб } 1} = 1,75$; $t_{\text{нач раб } 2} = 2$; $t_{\text{нач раб } 3} = 3$, функция – 1,75.

Пусть заданы времена прибытия-отправления поездов, показанные на рис. 5. Вариант исходных данных

2:

$$\begin{aligned} t_{\text{приб } 1} &= 0 & t_{\text{приб } 2} &= 1,5 \text{ час} & t_{\text{приб } 3} &= 2 \text{ час} \\ t_{\text{отпр } 1} &= 2 \text{ час} & t_{\text{отпр } 2} &= 6 \text{ час} & t_{\text{отпр } 3} &= 3,5 \text{ час} \end{aligned}$$

Время уборки – 0,25 час.

Критериальная функция, минимум которой требуется найти, имеет вид:

$$(t_{\text{нач раб } 2} - t_{\text{нач раб } 1} - t_{\text{уб}}) + (t_{\text{нач раб } 3} - t_{\text{нач раб } 1} - t_{\text{уб}}) + (t_{\text{нач раб } 3} - t_{\text{нач раб } 2} - t_{\text{уб}}) = 2t_{\text{нач раб } 3} - 2t_{\text{нач раб } 1} - 3t_{\text{уб}}.$$

Рассмотрим вид ограничений для данного примера:

$$\begin{aligned} t_{\text{нач раб } 1} &\geq t_{\text{приб } 1} & t_{\text{нач раб } 2} &\geq t_{\text{приб } 2} & t_{\text{нач раб } 3} &\geq t_{\text{приб } 3} \\ t_{\text{нач раб } 1} &\leq t_{\text{отпр } 1} - t_{\text{уб}} & t_{\text{нач раб } 2} &\leq t_{\text{отпр } 2} - t_{\text{уб}} & t_{\text{нач раб } 3} &\leq t_{\text{отпр } 3} - t_{\text{уб}} \\ t_{\text{нач раб } 1} + t_{\text{уб}} &\leq t_{\text{нач раб } 2} & t_{\text{нач раб } 1} + t_{\text{уб}} &\leq t_{\text{нач раб } 3} & t_{\text{нач раб } 2} + t_{\text{уб}} &\leq t_{\text{нач раб } 3} \end{aligned}$$

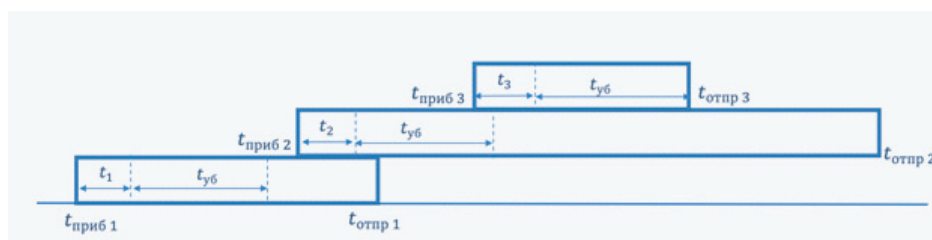


Рис. 4. Схема прибытия-отправления на станцию поездов по обороту, подлежащих уборке

В цифровом изображении:

Критериальная функция — $2t_{\text{нач раб } 3} - 2t_{\text{нач раб } 1} - 0,75$;

Ограничения —

$$\begin{array}{lll} t_{\text{нач раб } 1} \geq 0 & t_{\text{нач раб } 2} \geq 1,5 & t_{\text{нач раб } 3} \geq 2 \\ t_{\text{нач раб } 1} \leq 1,75 & t_{\text{нач раб } 2} \leq 5,75 & t_{\text{нач раб } 3} \leq 3,25 \\ t_{\text{нач раб } 1} + 0,25 \leq t_{\text{нач раб } 2} & t_{\text{нач раб } 1} + 0,25 \leq t_{\text{нач раб } 3} & t_{\text{нач раб } 2} + 0,25 \leq t_{\text{нач раб } 3} \end{array}$$

Результат: $t_{\text{нач раб } 1} = 1,75$; $t_{\text{нач раб } 2} = 2$; $t_{\text{нач раб } 3} = 3$, функция — 1,75.

Следует отметить, что система ограничений связывает всю цепочку времен начала работ.

Дополним критериальную функцию временной составляющей ($t_{\text{нач раб } 1} - 0$), т.е. учетом времени от начала расчетного периода до начала работы с первым поездом (это закономерно для оценки всех непроизводительных простоев бригады за расчетный период).

Тогда критериальная функция, выраженная формулой (16), примет вид:

$$\sum_{i=1}^{n_{\text{об}}^{\text{тр}}} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{n_{\text{об}}^{\text{тр}}} (t_{\text{нач раб } j} - t_{\text{нач раб } i} - t_{\text{уб}}) + t_{\text{нач раб } 1}. \quad (17)$$

После преобразований формула (17) принимает вид:

$$\sum_{i=1}^{n_{\text{об}}^{\text{тр}}} (2i - n_{\text{об}}^{\text{тр}} - 1)t_{\text{нач раб } i} - t_{\text{уб}} \sum_{i=1}^{n_{\text{об}}^{\text{тр}} - 1} i + t_{\text{нач раб } 1}. \quad (18)$$

Если уборка (и экипировка) поездов выполняется на путях отстоя, то задача определения необходимого количества бригад уборщиков решается на основании исходных данных расписания перестановки поездов на эти пути и вывода с них.

В рассмотренном выше примере критериальная функция имеет вид:

$$2t_{\text{нач раб } 3} - t_{\text{нач раб } 1} - 3t_{\text{уб}}.$$

Результат: $t_{\text{нач раб } 1} = 1,75$; $t_{\text{нач раб } 2} = 2$; $t_{\text{нач раб } 3} = 3$. Функция — 3,5.

Изменим $t_{\text{приб } 3} = 2$.

Результат: $t_{\text{нач раб } 1} = 1,5$; $t_{\text{нач раб } 2} = 1,75$; $t_{\text{нач раб } 3} = 2$. Функция — 1,75.

В приведенной задаче линейного программирования целевая функция и ее найденное в результате решения значение имеет вспомогательную роль [8–10]. Основную роль играет наличие решения как такового, т.е. подтверждение того факта, что существует непустое множество точек в многомерном пространстве, которое удовлетворяет всем ограничениям задачи. Применительно к сути задачи это означает: при заданных временах прибытия и отправления поездов бригада в рамках определенного периода времени справится с порученным объемом работы по уборке составов поездов.

При работе нескольких бригад по уборке (экипировке) поездов, находящихся на ПОП или на путях отстоя в условиях их длительного простоя, необходимо провести распределение работы между бригадами для дальнейшего решения задачи по определению времени начала работы каждой бригады с поездами.

Основанием для такого распределения является время прибытия поездов на станцию (или время завершения перестановки поездов на пути отстоя). Обозначим для обоих случаев эти времена $t_{\text{приб } i}$ $i = 1, \dots, n$.

Распределение (использование для выполнения заданной работы более одной бригады уборщиков) следует проводить в следующих случаях:

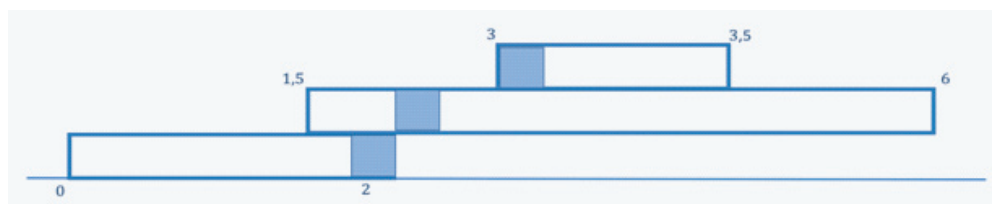


Рис. 5. Графическая иллюстрация решения задачи (вариант 1). Результат совпадает с первым результатом

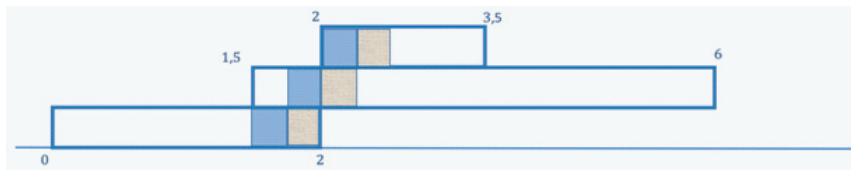


Рис. 6. Графическая иллюстрация решения задачи (вариант 2). ■ – отличие от первого результата

- потребное число бригад, рассчитанное по формуле (13), выражающей необходимое условие в потребном количестве бригад, больше единицы;
- конфигурация (заданное сочетание времен прибытия, завершения перестановки поездов на ПО и отправления поездов со станции (времен начала вывода поездов с путей отстоя) – обозначим для обоих случаев эти времена $t_{отпр\ i}$ $i=1,..., n$) такова, что задача линейного программирования по выбору оптимальных времен начала работы бригады с поездами, основанная на критериальной формуле (17) и ограничениях (14), (15) не имеет решения.

Данное распределение использует разведения поездов для обслуживания разными бригадами уборщиков, исходя из смежных на временной оси моментов $t_{приб\ i}$. В случае, если

$$t_{приб\ i+1} - t_{приб\ i} < t_{уб}, \quad (19)$$

то поезд t_{i+1} передается на обслуживание другой бригаде. Тем самым избегаются простои поездов, связанные с ожиданием освобождения бригады и соответственно начала обслуживания.

Пример.

Исходные данные:

- $n_{об}^{тр} = 15$, $T_p = 12$ час, $T_{нераб} = 0,5$ час, $t_{уб} = 0,9$ час.
- времена прибытия-отправления МВПС на пассажирскую станцию (рис. 7).

В соответствии с формулой (13):

$$k_{бр}^{потр} = \left\lceil \frac{15 \cdot 0,9}{12 \cdot 0,5} \right\rceil + 1 = 2 \text{ бр.}$$

Требуется распределить бригады уборщиков между прибывающими на станцию составами поездов.

Исходя из графика (см. рис. 7), поезда прикрепляются на обслуживание к бригадам следующим образом:

1 бригада	1	3	5	7	9	11	13	15
2 бригада	2	4	6	8	10	12	14	

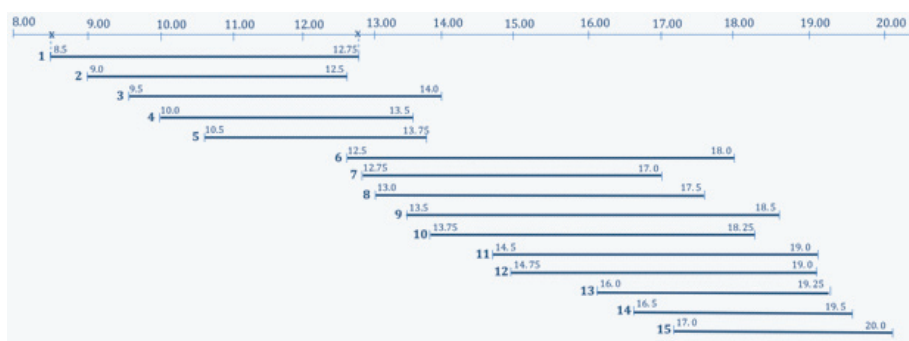


Рис. 7. Графическая иллюстрация времени нахождения МВПС на станции

«МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА БРИГАД УБОРЩИКОВ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ НА ПРИЕМО-ОТПРАВОЧНЫХ ПУТЯХ ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ»

После распределения интервал между поездами ($t_{\text{приб } i+1} - t_{\text{приб } i}$) 6–8, 7–9 и 8–10 остается меньше $t_{\text{уб}}=0,9$ час. Однако это не означает, что бригады не справятся с работой. Решение задачи линейного программирования в этом случае определит время начала работы с поездами 8, 9, 10 не равное времени прибытия этих поездов, т.е. на границе включенных в данную задачу ограничений.

Выводы

Использование методики определения количества бригад уборщиков, задействованных при подготовке оборотных составов высокоскоростных поездов в рейс на ПОП пассажирской станции без их перестановки в технические парки и на пути пассажирских технических станций, позволит перевозчику оптимизировать затраты на содержание штата сотрудников. Минимизация времени подготовки состава высокоскоростного поезда в рейс на ПОП пассажирской станции (времени простоя в ожидании подготовки) обеспечит эффективное использование подвижного состава, сокращение непроизводительных пробегов при его перестановке в технические парки (на пути отстоя), ритмичный график отправления и прибытия высокоскоростных поездов, минимальное время занятия ПОП на пассажирской станции, эффективное использование инфраструктуры ВСМ.

Методика позволяет проводить расчеты также в случае возможных нарушений графика прибытия и отправления поездов, а также при изменении расписания.



Литература

1. О заключении концессионного соглашения о финансировании, создании, эксплуатации инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта общего пользования от станции Крюково (Алабушево) до станции Санкт-Петербург-Главный, приобретении и эксплуатации высокоскоростного железнодорожного подвижного состава, предназначенного для перевозки пассажиров и (или) багажа на созданной инфраструктуре по маршруту «Москва — Санкт-Петербург». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 05.06.2024 № 1397-р. - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202406060025?ysclid=mfb1g-17cq962080953> (дата обращения: 12.08.2025). - Текст : электронный.
2. Концепция обслуживания пассажиров в электропоездах ВСМ. - URL: https://drive.google.com/file/d/18PpTL2ekJN1L6PtKLw4HINquYhkMcAEO/view?usp=drive_link (дата обращения: 12.08.2025). - Текст : электронный.
3. Нормы обслуживания пассажирских поездов высокоскоростного поезда «Сапсан» поездными бригадами в пути следования и нормы времени на подготовку вагона в рейс, сдачу после рейса, посадку и высадку пассажиров проводниками пассажирских вагонов, утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 22.06.2010 № 1326р. - Текст : непосредственный.
4. Изменения к Нормам обслуживания пассажирских вагонов высокоскоростного поезда «Сапсан» поездными бригадами в пути следования и нормы времени на подготовку вагона в рейс, сдачу после рейса, посадку и высадку пассажиров проводниками пассажирских вагонов № 1326р от 16.05.2017. - Текст : непосредственный.
5. Нормы обслуживания пассажирских вагонов скоростных электропоездов «Ласточка» поездными бригадами в пути следования и нормативы затрат времени на подготовку вагонов в рейс и сдачу после рейса, утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 10.06.2020 № 1251/р. - Текст : непосредственный.
6. Самые быстрые клинеры работают в Японии. - URL: <https://baltservice.pro/news/samye-bystrye-klinery-gabotayut-v-уаропii/> (дата обращения: 12.08.2025). - Текст : электронный.
7. Типовой технологический процесс работы пассажирской и пассажирской технической станции ОАО «РЖД», утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 01.12.2015 № 2806р. - Текст : непосредственный.
8. Карпелевич, Ф. И. Элементы линейной алгебры и линейного программирования : учебное пособие для вузов / Ф. И. Карпелевич, Л. Е. Садовский. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва : Наука, 1967. - 312 с. - Текст : непосредственный.
9. Юдин, Д. Б. Линейное программирование : Теория, методы и приложения / Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн : перераб. изд. - Москва : Наука, 1969. - 424 с. - Текст : непосредственный.
10. Вентцель Е. С. Исследование операции / Е. С. Вентцель. - Москва : Советское радио, 1972. - 551 с. - Текст : непосредственный.