

УДК 656.21

Ю. И. Ефименко, П. К. Рыбин, А. Г. Филиппов, М. В. Четчуев

## Обоснование этапности развития железнодорожных станций и узлов при наличии альтернативных вариантов

|                  |            |
|------------------|------------|
| Поступила        | 19.07.2018 |
| Рецензирование   | 20.08.2018 |
| Принята к печати | 27.08.2018 |

Не редки случаи, когда при разработке проектов поэтапного наращивания инфраструктурных мощностей железнодорожных станций и узлов появляется несколько конкурентоспособных вариантов дальнейшего развития. Учет этих вариантов при определении наиболее рациональной этапности развития железнодорожной станции или узла является весьма трудной задачей, решению которой посвящена настоящая статья.

В статье приводится общее описание хорошо зарекомендовавшего себя комплексного метода обоснования рациональной этапности развития железнодорожных станций и узлов, основанного на использовании динамического программирования. Отдельное внимание уделено особенностям применения указанного метода при наличии альтернативных вариантов проектных решений. Приведен пример определения наиболее рациональной этапности развития станции при наличии альтернативных вариантов. В примере рассмотрена узловая участковая станция полупродольного типа. Каждый из возможных вариантов технического состояния этой станции рассмотрен в сочетании с одним из трех вариантов развязки маршрутов в четной ее горловине: с пересечением поездных маршрутов в одном уровне без сооружения шлюза, то же со строительством шлюза, с сооружением путепроводной развязки.

На основании полученных результатов сделаны выводы о необходимости проведения более глубокого анализа возможных проектных решений, использовании особого порядка нумерации вариантов технического состояния станции и предварительного исключения нелогичных или заведомо нерациональных переходов при наличии альтернативных вариантов. Также был сделан вывод о том, что в полном объеме задача оптимизации этапности развития железнодорожных станций и узлов может быть решена только при создании полноценной автоматизированной системы их проектирования.

**Ключевые слова:** *пост-шлюз, путепроводная развязка, этапность развития, вариант технического состояния, условно-оптимальный переход.*

В соответствии с нормативными документами по проектированию отдельных пунктов [1–3] развитие крупных станций и железнодорожных узлов осуществляют, как правило, поэтапно. Это означает, что первоначальную пропускную (перерабатывающую) способность станции или узла предусматривают такой, чтобы обеспечить бесперебойную работу только на определенный начальный период эксплуатации, после чего при увеличении размеров работы путевое развитие и техническое оснащение устройств необходимо наращивать. Такой подход предложил еще в середине XIX в. И. Ф. Рерберг [4], а впоследствии его поддерживали С. Д. Карейша и Э. Л. Фишер [5, 6]. Размеры и сроки наращивания пропускной способности должны устанавливаться в процессе обоснования рациональной этапности развития станций, под которой понимают такую последовательность мероприятий по усилению путевого развития и технического оснащения станций и такие сроки реализации этих мероприятий, которые в совокупности с прогрессивной технологией работы обеспечивают минимум

критерия оптимальности – суммарных дисконтированных строительно-эксплуатационных расходов [7]. Другими словами, оптимальная этапность развития характеризует наиболее выгодную траекторию изменения наличной пропускной способности станционных устройств в координатах «время – состояние».

Совокупность значений параметров, характеризующих уровень технического состояния и технологического обеспечения станции (число путей в парках, схема их взаимного расположения, количество маневровых локомотивов, бригад ПТО и ПКО и смен их работы, число надвижных, спускных и обходных путей, а также средства механизации и автоматизации на сортировочных горках и др.), составляют *вариант технического состояния* станции. Изменение хотя бы одного параметра переводит станцию в другое состояние. Сочетание значений параметров, входящих в понятие «вариант технического состояния», должно быть не произвольным, а сбалансированным, т. е. таким, чтобы каждый элемент станции обеспечивал определенный, общий

для всех элементов уровень пропускной способности.

Анализ научных исследований по обоснованию этапности развития, выполненных с использованием современных математических методов, начиная с 1960-х гг. [8–21], показал, что в настоящее время для этой цели наиболее подходящим является метод динамического программирования, который принят и в данной статье.

### Особенности решения задачи при наличии альтернативных вариантов

В основе метода динамического программирования лежит разбиение вычислительного процесса на отдельные шаги. В пределах каждого шага вычислений определяют набор условно-оптимальных управлений (переходов)  $U(t)$ , в результате которых станция переходит из одного состояния в другое  $U_i^j$  ( $j \neq i$ ) или остается без изменений ( $j = i$ ). Условно-оптимальные переходы на каждом шаге определяют с учетом всех предыдущих шагов от начала расчетного периода. После определения условно-оптимальных переходов на последнем шаге наилучший вариант развития системы находят путем прохождения от лучшего варианта на этом шаге в обратном направлении по найденным условно-оптимальным переходам к началу расчетного периода.

Определение условно-оптимального перехода на шаге  $t$  для достижения варианта технического состояния  $S_j$  реализуется на основе рекуррентного соотношения

$$\mathcal{E}_{t,j}^{\text{опт}} = \min(\mathcal{E}_{t-1,i}^{\text{опт}} + \Delta \mathcal{E}_{t,j}(U_i^j)) \quad (1)$$

$$(t=1, 2, \dots, T; j=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, j),$$

где  $\mathcal{E}_{t,j}^{\text{опт}}$  – минимальное значение приведенных строительно-эксплуатационных затрат в год  $t$  для достижения к этому году технического состояния  $S_j$ ;  $\mathcal{E}_{t-1,i}^{\text{опт}}$  – то же в год  $t-1$  для состояния  $S_i$ ;  $\Delta \mathcal{E}_{t,j}(U_i^j)$  – приращение критерия эффективности в год  $t$  при переходе от состояния  $S_i$  к состоянию  $S_j$ .

$$\Delta \mathcal{E}_{t,j}(U_i^j) = K_{i \rightarrow j} + C_{t,i} \alpha_t, \quad (2)$$

где  $K_{i \rightarrow j}, C_{t,i}$  – капиталовложения в год  $t$  для перехода от  $S_i$  до  $S_j$  и эксплуатационные расходы в этот год для  $S_i$  соответственно.

Вычислительному процессу оптимизации предшествует разработка и оценка вариантов технического состояния проектируемого объекта, представляющая собой наиболее трудоемкую часть задачи. Для каждого варианта технического состояния необходимо запроектировать масштабный план на полное развитие, на основе которого подсчитать объем и стоимость строительства, которая войдет в массив исходных капиталовложений  $\{K_i\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Далее следует разработать и оценить проекты переустройства для реализации всех возможных переходов между вариантами технического состояния и подсчитать стоимость переустройства для матрицы капитальных вложений  $\|K_i^j\|$  ( $i = 1, 2, \dots, j; j = 1, 2, \dots, n$ ). Также необходимы значения эксплуатационных расходов для всех вариантов технического состояния по всем годам эксплуатации  $\|C_{t,j}\|$  ( $t = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, n$ ). Учитывая большой объем работ, необходимо стремиться к реализации только необходимых вариантов технического состояния и необходимых переходов между ними.

При развитии станции или узла в рамках одной принципиальной схемы число вариантов технического состояния будет минимальным, а переходы должны быть возможны между всеми вариантами. Но в процессе развития станции или узла эффективным может стать переход от существующей к другой, более прогрессивной принципиальной схеме, и момент целесообразности этого перехода должен быть установлен в процессе оптимизации этапности развития путем сравнения различных вариантов схемных решений, которые принято именовать *альтернативными вариантами технического состояния*.

Например, участковые станции на однопутных линиях целесообразнее проектировать поперечного типа, а на двухпутных линиях при больших размерах движения – полупродольного или продольного типа. Схемы сортировочных и других крупных станций могут отличаться числом и взаимным расположением парков и других устройств. Альтернативные варианты железнодорожных узлов могут отличаться не только взаимным расположением, но и числом станций и их специализацией, а также наличием или отсутствием обходов узла. Аналогично определяют и число

вариантов технического состояния узловых станций. В этом случае для каждой градации размеров движения необходимо рассмотреть не менее трех вариантов развязки маршрутов: в одном уровне без устройства шлюзов; в одном уровне с сооружением шлюзов; в разных уровнях со строительством путепроводной развязки.

Наличие альтернативных вариантов технического состояния требует особого порядка нумерации вариантов и контроля за переходами между вариантами. Например, для узловых станций все рассматриваемые варианты необходимо разделить на группы по три варианта, в каждой из которых путевое развитие самой станции рассчитывают на одинаковые размеры движения, а различаются они указанными выше вариантами развязки маршрутов. Группы следует располагать в порядке увеличения размеров движения.

Кроме того, необходимо выявить и отбросить заведомо нерациональные переходы, что позволит избавиться от ненужных расчетов. При растущих размерах работы для узловых станций следует исключать переходы между вариантами одной группы, а также от вариантов с путепроводной развязкой к вариантам с пересечением маршрутов в одном уровне без шлюза или с таковым, а от вариантов со шлюзом к вариантам с пересечением маршрутов в одном уровне без шлюза. Отсечь нелогические или неприемлемые по другим причинам переходы легче всего заданием в матрице капитальных

вложений для таких переходов заведомо завышенных значений капитальных вложений при устойчиво растущих объемах работы. Матрица будет иметь вид, представленный в табл. 1.

### Пример обоснования этапности развития узловой станции

#### Исходные данные для расчетов

Проверка предлагаемого метода осуществляется на примере узловой участковой станции полупродольного типа, при которой можно обеспечить наилучшие условия для поэтапного наращивания путевого развития парков с минимальными его переустройствами, а также наименьшие пробеги сменяемых поездных локомотивов, что доказано в исследованиях [16, 21].

Станция расположена на двухпутной электрифицированной на постоянном токе линии *АВ*, к которой в начале расчетного периода примыкает с четной стороны новый однопутный подход *В*, также электрифицированный на постоянном токе (рис. 1).

Принято, что местные условия (топографические, геологические, застройка прилегающей территории и др.) позволяют беспрепятственно наращивать путевое развитие парков станции.

Размеры движения на примыкающих к станции подходах имеют тенденцию непрерывного роста в течение расчетного периода и характеризуются данными, приведенными в табл. 2.

Таблица 1

Матрица капитальных вложений при устойчиво растущих объемах работы

| Исходный вариант технического состояния | Капиталовложения, необходимые для перехода к вариантам, млн р. |           |           |           |           |           |     |               |                   |               |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|---------------|-------------------|---------------|
|                                         | 1                                                              | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | ... | $n - 2$       | $n - 1$           | $n$           |
| 1                                       | 0                                                              | $K_{1-2}$ | $K_{1-3}$ | $K_{1-4}$ | $K_{1-5}$ | $K_{1-6}$ | ... | $K_{1-(n-2)}$ | $K_{1-(n-1)}$     | $K_{1-n}$     |
| 2                                       |                                                                | 0         | $K_{2-3}$ | 99999     | $K_{2-5}$ | $K_{2-6}$ | ... | 99999         | $K_{2-(n-1)}$     | $K_{2-n}$     |
| 3                                       |                                                                |           | 0         | 99999     | 99999     | $K_{3-6}$ | ... | 99999         | 99999             | $K_{3-n}$     |
| 4                                       |                                                                |           |           | 0         | $K_{4-5}$ | $K_{4-6}$ | ... | $K_{4-(n-2)}$ | $K_{4-(n-1)}$     | $K_{4-n}$     |
| 5                                       |                                                                |           |           |           | 0         | $K_{5-6}$ | ... | 99999         | $K_{5-(n-1)}$     | $K_{5-n}$     |
| 6                                       |                                                                |           |           |           |           | 0         | ... | 99999         | 99999             | $K_{6-n}$     |
| ...                                     |                                                                |           |           |           |           |           | ... | ...           | ...               | ...           |
| ...                                     |                                                                |           |           |           |           |           | ... | ...           | ...               | ...           |
| ...                                     |                                                                |           |           |           |           |           | ... | ...           | ...               | ...           |
| $n - 2$                                 |                                                                |           |           |           |           |           |     | 0             | $K_{(n-2)-(n-1)}$ | $K_{(n-2)-n}$ |
| $n - 1$                                 |                                                                |           |           |           |           |           |     |               | 0                 | $K_{(n-1)-n}$ |
| $n$                                     |                                                                |           |           |           |           |           |     |               |                   | 0             |

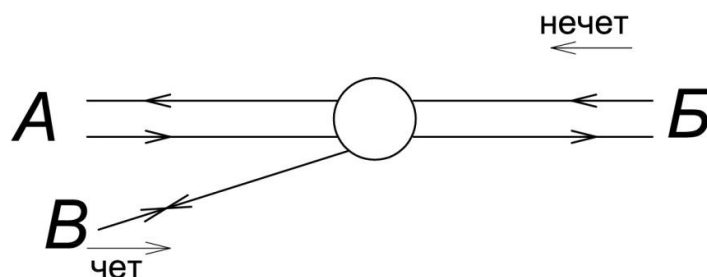


Рис. 1. Схема подходов к проектируемой станции

Таблица 2

**Размеры движения на примыкающих к станции подходах в течение расчетного периода**

| Годы эксплуатации | Размеры пассажирского движения на подходах, пар поездов |    |   | Размеры грузового движения на подходах, пар поездов |     |    |                  |   |   |
|-------------------|---------------------------------------------------------|----|---|-----------------------------------------------------|-----|----|------------------|---|---|
|                   |                                                         |    |   | транзитных                                          |     |    | перерабатываемых |   |   |
|                   | А                                                       | Б  | В | А                                                   | Б   | В  | А                | Б | В |
| 1                 | 4                                                       | 6  | 2 | 48                                                  | 63  | 15 | 2                | 4 | 2 |
| 10                | 6                                                       | 9  | 3 | 72                                                  | 93  | 21 | 4                | 7 | 3 |
| 15                | 6                                                       | 10 | 4 | 84                                                  | 108 | 24 | 4                | 7 | 3 |
| 20                | 8                                                       | 12 | 4 | 96                                                  | 123 | 27 | 4                | 7 | 3 |

**Разработка вариантов технического состояния станции и примыкающих подходов, а также возможных переходов между ними**

Для определения числа вариантов технического состояния путевого развития станции необходимо определить потребное число путей в парках в начале и конце расчетного периода. Согласно табл. 6.1 Правил [3] в приемо-отправочном парке нечетного направления (ПО-1) необходимо иметь в начале расчетного периода 7, а в конце – 11 путей. В четном парке (ПО-2) для этой цели необходимо иметь на один путь больше (из-за примыкания дополнительного подхода), что составит в начале расчетного периода 8, а в конце – 12 путей.

Для обработки поездов, поступающих в переработку, и поездов своего формирования на весь расчетный период достаточно двух приемо-отправочных путей (Пр), а для приема и отправления пассажирских поездов – одного приемо-отправочного и четырех главных путей.

Каждый вариант технического состояния приемо-отправочных путей необходимо рассмотреть в сочетании с одним из трех вариантов развязки маршрутов в четной горловине станции:

- 1) с пересечением поездных маршрутов в одном уровне без сооружения шлюза;
- 2) то же со строительством шлюза;

3) с пересечением маршрутов в разных уровнях, т. е. с сооружением путепроводной развязки.

Принципиальные схемы развития станции для трех указанных вариантов представлены на рис. 2.

Принимая в качестве шага наращивания числа путей в приемо-отправочных парках ПО-1 и ПО-2 один путь, получим 15 вариантов технического состояния путевого развития станции и развязок маршрутов, представленных в табл. 3. Порядок нумерации вариантов технического состояния принят следующим: все варианты разделены на пять групп по три варианта, отличающихся развязкой маршрутов. Внутри каждой группы вариантов путевое развитие станции принимаем одинаковым.

С учетом того что в течение расчетного периода предусмотрен непрерывный рост размеров движения, возможные переходы между вариантами технического состояния, для которых необходимо получить значения потребных капиталовложений, определялись с учетом заведомой нецелесообразности следующих переходов:

- от вариантов с большими размерами движения к вариантам с меньшими;
- между вариантами внутри одной группы;
- от вариантов с развязкой маршрутов в разных уровнях к вариантам с развязкой в одном уровне;

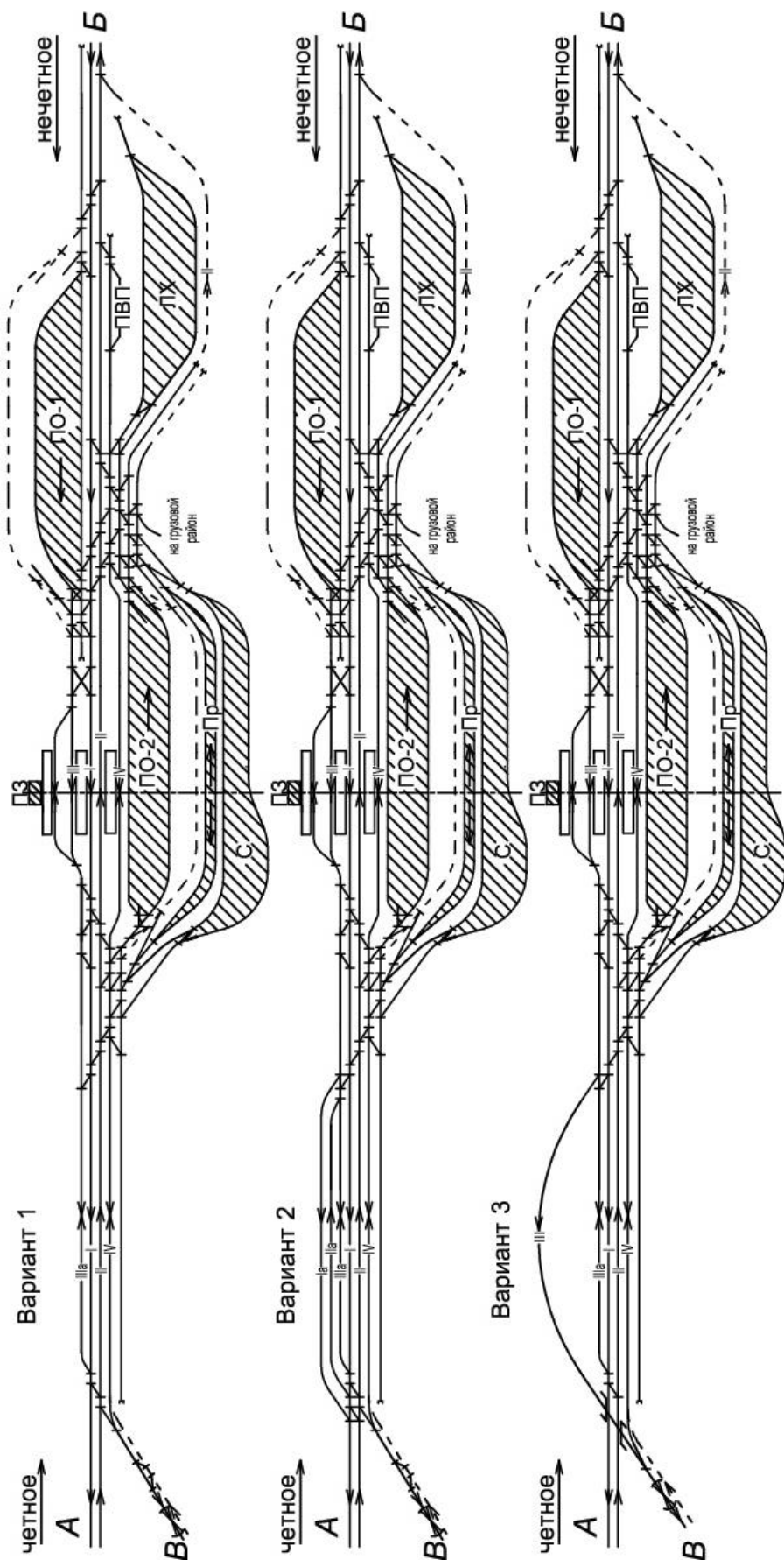


Рис. 2. Схемы станций с вариантами развязок маршрутов

– от вариантов с развязкой в одном уровне с помощью шлюза к вариантам с развязкой в одном уровне без шлюза.

С учетом изложенного возможные переходы, которые необходимо рассмотреть при выборе наиболее рациональной этапности развития, приведены в табл. 4.

С целью уменьшения объемов вычислений при определении стоимостных показателей по вариантам общее техническое состояние стан-

ции с подходами лучше представить в виде сочетания двух составляющих: технического состояния парков станции по группам, которое может быть представлено в пяти вариантах, и технического состояния развязки подходов, представляемого в трех вариантах (см. табл. 3).

Характеристика вариантов возможных переходов между техническими состояниями приемо-отправочных парков приведена в табл. 5.

Таблица 3

**Варианты технического состояния путевого развития станции и развязок маршрутов**

| Номер группы вариантов | Номер варианта технического состояния станции и развязки маршрутов | Номер варианта развязки маршрутов внутри групп | Число приемо-отправочных путей по вариантам технического состояния |              |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|
|                        |                                                                    |                                                | в парке ПО-1                                                       | в парке ПО-2 |
| 1                      | 1                                                                  | 1                                              | 7                                                                  | 8            |
|                        | 2                                                                  | 2                                              | 7                                                                  | 8            |
|                        | 3                                                                  | 3                                              | 7                                                                  | 8            |
| 2                      | 4                                                                  | 1                                              | 8                                                                  | 9            |
|                        | 5                                                                  | 2                                              | 8                                                                  | 9            |
|                        | 6                                                                  | 3                                              | 8                                                                  | 9            |
| 3                      | 7                                                                  | 1                                              | 9                                                                  | 10           |
|                        | 8                                                                  | 2                                              | 9                                                                  | 10           |
|                        | 9                                                                  | 3                                              | 9                                                                  | 10           |
| 4                      | 10                                                                 | 1                                              | 10                                                                 | 11           |
|                        | 11                                                                 | 2                                              | 10                                                                 | 11           |
|                        | 12                                                                 | 3                                              | 10                                                                 | 11           |
| 5                      | 13                                                                 | 1                                              | 11                                                                 | 12           |
|                        | 14                                                                 | 2                                              | 11                                                                 | 12           |
|                        | 15                                                                 | 3                                              | 11                                                                 | 12           |

Таблица 4

**Возможные варианты переходов между техническими состояниями путевого развития станции и развязок маршрутов**

| Исходный вариант технического состояния | Номера вариантов технического состояния, к которым необходимо рассматривать переход от исходного варианта | Число возможных переходов |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1                                       | 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15                                                                  | 12                        |
| 2                                       | 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15                                                                                | 8                         |
| 3                                       | 6, 9, 12, 15                                                                                              | 4                         |
| 4                                       | 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15                                                                           | 9                         |
| 5                                       | 8, 9, 11, 12, 14, 15                                                                                      | 6                         |
| 6                                       | 9, 12, 15                                                                                                 | 3                         |
| 7                                       | 10, 11, 12, 13, 14, 15                                                                                    | 6                         |
| 8                                       | 11, 12, 14, 15                                                                                            | 4                         |
| 9                                       | 12, 15                                                                                                    | 2                         |
| 10                                      | 13, 14, 15                                                                                                | 3                         |
| 11                                      | 14, 15                                                                                                    | 2                         |
| 12                                      | 15                                                                                                        | 1                         |

Таблица 5

**Характеристика вариантов возможных переходов между техническими состояниями приемо-отправочных парков**

| Номера исходных вариантов | Число путей в парках ПО-1 + ПО-2 в исходных вариантах | Число путей в парках ПО-1 + ПО-2 после перехода к возможному новому состоянию |
|---------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1, 2, 3                   | 7 + 8                                                 | 8 + 9; 9 + 10; 10 + 11; 11 + 12                                               |
| 4, 5, 6                   | 8 + 9                                                 | 9 + 10; 10 + 11; 11 + 12                                                      |
| 7, 8, 9                   | 9 + 10                                                | 10 + 11; 11 + 12                                                              |
| 10, 11, 12                | 10 + 11                                               | 11 + 12                                                                       |

Вариантов переходов между состояниями развязок маршрутов будет три:

- 1) от варианта с пересечением в одном уровне без шлюза к варианту со шлюзом;
- 2) от варианта с пересечением в одном уровне без шлюза к варианту с путепроводной развязкой;
- 3) от варианта с пересечением с помощью шлюза к варианту с путепроводной развязкой.

**Экономическая оценка вариантов технического состояния станции и подходов к ней, а также переходов между вариантами**

Для экономической оценки вариантов технического состояния станции и подходов к ней, а также переходов между вариантами необходимо определить указанные выше отличающиеся стоимостные показатели: исходные капиталовложения по всем вариантам технического состояния, которые представляются в виде массива  $\{K_i\} (i = 1, 2, \dots, n)$ ; капиталовложения, необходимые для перехода от каждого варианта технического состояния к другим возможным вариантам, представляемые в виде матрицы капиталовложений  $\|K_{i \rightarrow j}\| (i = 1, 2, \dots, j; j = 1, 2, \dots, n)$ ; эксплуатационные расходы по каждому году расчетного периода и варианту технического состояния в виде матрицы эксплуатационных расходов  $\|C_{t,j}\| (t = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, n)$ .

Для получения стоимостных показателей были разработаны масштабные планы по всем вариантам и рассчитаны задержки подвижного состава, зависящие от варианта этапности. Масштабные планы и расчеты стоимостных показателей хранятся на кафедре «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВО ПГУПС.

Результаты расчетов исходных капиталовложений по вариантам технического состояния станции представлены в табл. 6; капиталовложения, необходимые для перехода к другим возможным вариантам технического состояния, – в табл. 7; матрица годовых эксплуатационных расходов – в табл. 8.

При принятых исходных данных график условно-оптимальных переходов будет иметь вид, представленный на рис. 3, на основе которого получен график оптимальной этапности, т. е. наиболее рациональная траектория развития станции и развязок маршрутов (выделена жирной линией).

Из рис. 3 видно, что при принятых ценах на строительство и ставках эксплуатационных расходов с начала расчетного периода и до пятого года эксплуатации целесообразно иметь первый вариант технического состояния, при котором в парке ПО-1 укладывают семь, а в парке ПО-2 – восемь приемо-отправочных путей. Пересечение поездных маршрутов целесообразно осуществлять в одном уровне без шлюза. На шестом году эксплуатации следует перейти к седьмому варианту технического состояния, для чего потребуется в парках ПО-1 и ПО-2 уложить дополнительно по два приемо-отправочных пути, сохранив пересечение маршрутов в одном уровне без шлюза. До тринадцатого года эксплуатации такое состояние целесообразно сохранить, а на четырнадцатом году следует ввести в эксплуатацию развязку маршрутов на четном подходе в разных уровнях, соорудив путепровод. Загрузка точки пересечения главных путей в одном уровне при этом составит 60,3 %. Из рис. 3 видно, что в этом же четырнадцатом году развязку маршрутов в одном уровне целесообразнее осуществлять уже и с помощью шлюза, что даст небольшую экономию приведенных расходов, которая составит к концу расчетного периода 11 млн р. (см. рис. 3), однако этот вариант можно принимать только при наличии дополнительных ограничений на сооружение путепроводной развязки, поскольку вариант с сооружением шлюза в условиях роста размеров движения является временным и в дальнейшем, за пределами расчетного срока, все равно придется сооружать путепроводную развязку, но такой переход будет нерациональным, так как выйдет за оптимальную траекторию развития.

Таблица 6

**Исходные капиталовложения по вариантам технического состояния станции**

| Варианты технического состояния    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Исходные капиталовложения, млрд р. | 3,57 | 3,71 | 3,85 | 3,87 | 4,01 | 4,15 | 4,02 | 4,16 | 4,30 | 4,19 | 4,34 | 4,47 | 4,38 | 4,55 | 4,68 |

Таблица 7

## Матрица капитальных вложений для переходов к другим возможным вариантам технического состояния

| Исходный вариант<br>технического состояния | Капиталовложения, необходимые для перехода к вариантам, млн р. |       |       |       |       |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                            | 1                                                              | 2     | 3     | 4     | 5     | 6      | 7     | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     |
| 1                                          | 0                                                              | 99999 | 99999 | 775,7 | 924,7 | 1062,0 | 933,0 | 1082,0 | 1219,3 | 1109,3 | 1265,1 | 1402,4 | 1308,2 | 1484,2 | 1621,4 |
| 2                                          | 99999                                                          | 0     | 99999 | 99999 | 775,7 | 1062,0 | 99999 | 933,0  | 1219,0 | 99999  | 1116,1 | 1402,0 | 99999  | 1335,1 | 1621,0 |
| 3                                          | 99999                                                          | 99999 | 0     | 99999 | 99999 | 775,7  | 99999 | 99999  | 933,0  | 99999  | 99999  | 1116,1 | 99999  | 99999  | 1335,1 |
| 4                                          | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 0     | 99999 | 99999  | 625,7 | 774,8  | 912,0  | 802,1  | 957,9  | 1095,1 | 1000,9 | 1176,9 | 1314,1 |
| 5                                          | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 0     | 99999  | 99999 | 625,7  | 912,0  | 99999  | 808,8  | 1095,0 | 99999  | 1027,8 | 1209,3 |
| 6                                          | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 0      | 99999 | 99999  | 625,7  | 99999  | 99999  | 808,8  | 99999  | 99999  | 1027,8 |
| 7                                          | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999  | 0     | 99999  | 99999  | 644,8  | 800,6  | 937,8  | 843,6  | 1019,6 | 1156,8 |
| 8                                          | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999  | 99999 | 0      | 99999  | 99999  | 651,5  | 938,0  | 99999  | 870,5  | 1157,0 |
| 9                                          | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999  | 99999 | 99999  | 0      | 99999  | 99999  | 651,5  | 99999  | 99999  | 870,5  |
| 10                                         | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999  | 99999 | 99999  | 99999  | 0      | 99999  | 99999  | 667,3  | 843,3  | 980,5  |
| 11                                         | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999  | 99999 | 99999  | 99999  | 99999  | 0      | 99999  | 99999  | 687,5  | 981,0  |
| 12                                         | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999  | 99999 | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 0      | 99999  | 99999  | 687,5  |
| 13                                         | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999  | 99999 | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 0      | 99999  | 99999  |
| 14                                         | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999  | 99999 | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 0      | 99999  |
| 15                                         | 99999                                                          | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999  | 99999 | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 99999  | 0      |

Таблица 8

**Матрица годовых эксплуатационных расходов по вариантам технического состояния в течение расчетного периода**

| Год<br>эксплуа-<br>тации | Годовые эксплуатационные расходы по вариантам технического состояния, млн р. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 1                                                                            | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| 1                        | 200,0                                                                        | 203,9 | 196,5 | 214,9 | 218,8 | 211,5 | 223,3 | 227,1 | 219,8 | 231,3 | 236,2 | 228,8 | 240,8 | 248,7 | 241,3 |
| 2                        | 200,2                                                                        | 204,0 | 196,5 | 215,2 | 218,9 | 211,5 | 223,5 | 227,3 | 219,8 | 231,5 | 236,3 | 228,8 | 241,0 | 248,8 | 241,3 |
| 3                        | 201,3                                                                        | 204,6 | 196,8 | 216,3 | 219,6 | 211,7 | 224,6 | 227,9 | 220,0 | 232,6 | 236,9 | 229,1 | 242,1 | 249,4 | 241,6 |
| 4                        | 203,0                                                                        | 205,1 | 196,8 | 218,0 | 220,1 | 211,7 | 226,3 | 228,4 | 220,0 | 234,3 | 237,4 | 229,1 | 243,8 | 249,9 | 241,6 |
| 5                        | 205,5                                                                        | 205,6 | 197,0 | 220,4 | 220,5 | 212,0 | 228,8 | 228,8 | 220,3 | 236,8 | 237,9 | 229,3 | 246,3 | 250,4 | 241,8 |
| 6                        | 206,4                                                                        | 205,9 | 197,0 | 221,4 | 220,9 | 212,0 | 229,7 | 229,2 | 220,3 | 237,7 | 238,2 | 229,3 | 247,2 | 250,7 | 241,8 |
| 7                        | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 222,1 | 221,2 | 212,2 | 230,4 | 229,5 | 220,5 | 238,5 | 238,6 | 229,6 | 248,0 | 251,0 | 242,1 |
| 8                        | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 224,1 | 222,4 | 212,5 | 232,4 | 230,8 | 220,8 | 240,4 | 239,8 | 229,8 | 249,9 | 252,3 | 242,3 |
| 9                        | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 226,3 | 223,9 | 212,7 | 234,6 | 232,2 | 221,0 | 242,7 | 241,3 | 230,1 | 252,2 | 253,7 | 242,6 |
| 10                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 237,4 | 234,4 | 221,3 | 245,5 | 243,4 | 230,3 | 255,0 | 255,9 | 242,8 |
| 11                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 240,3 | 234,9 | 221,3 | 248,4 | 243,9 | 230,3 | 257,9 | 256,4 | 242,8 |
| 12                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 243,9 | 235,6 | 221,5 | 251,9 | 244,6 | 230,6 | 261,4 | 257,1 | 243,0 |
| 13                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 247,8 | 236,1 | 221,5 | 255,8 | 245,1 | 230,6 | 265,3 | 257,6 | 243,0 |
| 14                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 252,5 | 236,8 | 221,8 | 260,6 | 245,9 | 230,8 | 270,1 | 258,3 | 243,3 |
| 15                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 263,6 | 246,5 | 231,1 | 273,1 | 259,0 | 243,5 |
| 16                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 271,0 | 248,3 | 231,1 | 280,5 | 260,7 | 243,5 |
| 17                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 280,3 | 250,5 | 231,3 | 289,8 | 262,9 | 243,8 |
| 18                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 291,4 | 253,0 | 231,6 | 300,9 | 265,5 | 244,0 |
| 19                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 314,4 | 268,5 | 244,3 |
| 20                       | 99999                                                                        | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 323,1 | 270,1 | 244,3 |

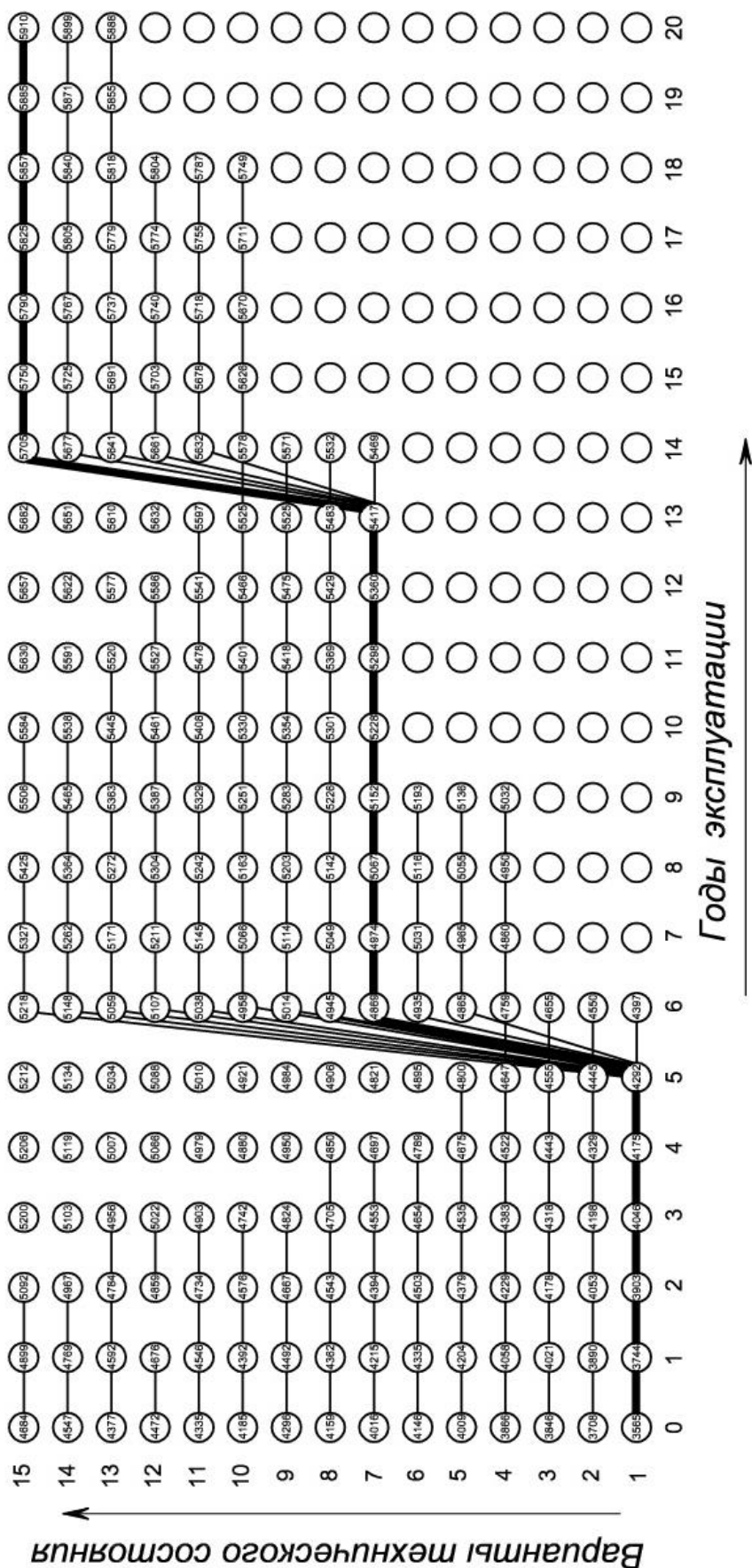


Рис. 3. График условно-оптимальных переходов

### Выводы

1. Использование альтернативных вариантов технического состояния железнодорожных станций и узлов при обосновании рациональной этапности их развития нацелено на проведение более глубокого анализа возможных проектных решений, хотя и требует значительного увеличения подготовительной работы и объема вычислений.
2. Эффективным способом сокращения объемов масштабного проектирования и экономи-

ческой оценки переходов между вариантами технического состояния является предложенный в статье особый порядок их нумерации и предварительные исключения нелогичных или заведомо нерациональных переходов.

3. В полном объеме задача оптимизации этапности развития железнодорожных станций и узлов может быть решена только при создании полноценной автоматизированной системы их проектирования.

### Библиографический список

1. Технические условия проектирования станций для дорог нормальной колеи. М. : Транспечать, 1926. 39 с.
2. Технические условия проектирования станций для дорог нормальной колеи. М. : Транспечать, 1933. 128 с.
3. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. М. : Техинформ, 2003. 168 с.
4. Рерберг И. Ф. Правила для расположения путей, зданий и прочих принадлежностей при проектировании станций железных дорог. СПб., 1868. 28 с.
5. Карейшис С. Д. О проектировании расположения путей и зданий на станциях железных дорог. СПб. : Типография Ю. Н. Эрлих, 1902. 23 с.
6. Фишер Э. Л. Записка об упорядочении путевых устройств железнодорожных станций, в частности Петроградского узла. Петроград, 1917. 46 с.
7. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте : Приложение к указанию МПС России от 31.08.98 № В-1024у. М., 1998. 123 с.
8. Лившиц В. Н. Выбор оптимальных решений в технико-экономических расчетах. М. : Экономика, 1971. 255 с.
9. Быкадоров А. В. К расчету оптимальных сроков развития железнодорожного объекта // Вопросы проектирования и организации работы железнодорожных станций : Труды НИИЖТа. Новосибирск, 1969. Вып. 93. С. 18–28.
10. Булавченко И. Д. Об этапности переустройства станций // Вопросы эксплуатации железных дорог : Труды НИИЖТа. Новосибирск, 1971. Вып. 131. С. 93–105.
11. Наяшников Ю. П. Особенности технико-экономических расчетов при многоочередном развитии сортировочных станций // Вопросы технологии проектирования и расчета технических средств железнодорожных и промышленных узлов : Труды МИИТа. М., 1973. Вып. 447. С. 90–101.
12. Архангельский Е. В. Выбор этапного развития станций // Повышение эффективности использования технических средств на железнодорожных станциях : Труды ВНИИЖТа. М., 1986. С. 3–18.
13. Сотников Е. А. Развитие сортировочных станций при увеличении провозной способности // Железнодорожный транспорт. 1975. № 10. С. 28–32.
14. Грунтов П. С. Прогнозирование оптимальной этапности развития сортировочных станций на перспективный период // Оптимизация технологических процессов на сортировочных станциях и участках : Труды БелИИЖТа. Гомель, 1976. Вып. 152. С. 3–23.
15. Ефименко Ю. И. Обоснование этапности развития железнодорожных станций и узлов : дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1992. 394 с.
16. Олейникова Л. А. Сферы применения односторонних и двусторонних сортировочных станций при росте и спаде объемов переработки вагонов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2006. 26 с.
17. Губарь М. В. Обоснование параметров и рациональных схем пограничных передаточных станций : автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2007. 24 с.
18. Куклев Д. Н. Обоснование целесообразности сооружения обходов железнодорожных узлов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2007. 24 с.
19. Сугоровский А. В. Обоснование этапности развития пассажирских технических станций : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2010. 189 с.
20. Четчуев М. В. Обоснование этапности развития горловин железнодорожных станций : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2012. 176 с.
21. Климов А. А. Станции и узлы – перспективное направление развития транспортной науки // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2007. Вып. 16. С. 188–197.

Yu. I. Efimenko, P. K. Rybin, A. G. Filippov, M. V. Chetchuev

### **The Justification of Staging Development of Railway Stations and Junctions Development in the Presence of Alternative Options**

**Abstract.** It is not rare that several competitive options for further development appear in the development of projects to gradually increase the infrastructure capacity of railway stations and junctions. Taking these options into account when determining the most rational stage of a railway station or junction development is a very difficult task, the solution of which is devoted to this article.

The first part provides a general description of a well-proven integrated method of railway stations and junctions rational development based on the use of dynamic programming. Special attention is paid to the peculiarities of the application of this method in the presence of alternative design solutions. The second part of the article provides an example of determining the most rational stage of the station development in the presence of alternative options. In the example, the node station of the semi-longitudinal type is considered. Each of the possible variants of the technical condition of this station is considered in combination with one of the three variants of route isolation in its even neck: with the crossing of train routes in one level without the construction of a gateway, the same with the construction of a gateway, with the construction of an overpass.

On the basis of the obtained results, conclusions are drawn about the need for a more in-depth analysis of possible design solutions, the use of a special order of numbering options for the technical condition of the station and the preliminary elimination of illogical or obviously irrational transitions in the presence of alternative options. It was also concluded that the task of optimizing the stages of railway stations and nodes development can be solved only by creating a full-fledged automated system of their design.

**Key words:** *post-lock; flying junction; staging development; technical state variant; conditionally optimal crossing.*

**Ефименко Юрий Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Железнодорожные станции и узлы» ПГУПС. E-mail: zdsu@pgups.ru

**Рыбин Петр Кириллович** – кандидат технических наук, проректор по воспитательной работе и связям с производством ПГУПС. E-mail: gdsu@mail.ru

**Филиппов Антон Геннадьевич** – старший преподаватель кафедры «Железнодорожные станции и узлы» ПГУПС. E-mail: tigropard10@mail.ru

**Четчуев Максим Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Железнодорожные станции и узлы» ПГУПС. E-mail: maxetion@mail.ru