

УДК 656.22

Разработка алгоритма расчета наибольшего приведенного уклона при закреплении вагонов на путях станций тормозными башмаками*

В. В. Костенко, С. С. Смирнов, Д. В. Язев, И. П. Александров

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

Для цитирования: Костенко В. В., Смирнов С. С., Язев Д. В., Александров И. П. Разработка алгоритма поиска наибольшего приведенного уклона при закреплении вагонов на путях станций тормозными башмаками // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 4. — С. 812–819. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-812-819

Аннотация

Цель: Разработка машинопригодного алгоритма расчета наибольшего среднего (приведенного) уклона для определения минимальных норм закрепления вагонов, групп вагонов или составов поездов, оставляемых на путях железнодорожных станций без локомотивов. **Методы:** Решение поставленной задачи производилось путем составления последовательности математических и логических действий. Математическими выражениями описывается спрямление продольного профиля пути, т. е. расчет приведенного уклона. Логическими действиями описаны ограничения при производстве расчетов. **Результаты:** Составлен алгоритм расчета приведенного уклона, учитывающий положения Инструкции по организации движения поездов и маневровой работы на железнодорожном транспорте Российской Федерации. **Практическая значимость:** Разработанный алгоритм позволяет производить расчет приведенного уклона при наименее благоприятных условиях расположения вагонов, групп вагонов или составов поездов в пределах полезной длины станционных путей, что отвечает условиям обеспечения надежного закрепления подвижного состава от ухода. Проведенные исследования позволяют разработать программу для определения минимальных норм закрепления вагонов, групп вагонов или составов поездов, оставляемых на путях железнодорожных станций без локомотивов в полном соответствии с Инструкцией по организации движения поездов и маневровой работы на железнодорожном транспорте Российской Федерации.

Ключевые слова: Средний уклон, приведенный уклон, спрямление продольного профиля, тормозной башмак, закрепление подвижного состава, нормы закрепления подвижного состава.

* Статья опубликована при поддержке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» инициативных научных работ, выполняемых студенческими научными коллективами.

The article is published at the support by Emperor Alexander I Petersburg State Transport University of personal scientific works implemented by student research groups.

Введение

Неотъемлемой частью технологических процессов работы станций является надежное закрепление от ухода оставляемых на станционных путях вагонов без локомотивов [1, 2]. Время на производство операций по укладке и изъятию тормозных башмаков зависит от их количества. В свою очередь, расчетные формулы, приведенные в [3], свидетельствуют о наличии прямой зависимости между минимальными нормами закрепления и средним (приведенным) уклоном пути.

В соответствии с [3] на путях с ломаным профилем нормы закрепления составов поездов или групп вагонов, располагающихся в пределах всей длины путей, исчисляются по средней величине уклона для всей длины пути. Если вагоны оставляются на отдельных отрезках путей, то их закрепление тормозными башмаками должно производиться по нормам, соответствующим фактической величине уклона данного отрезка.

На данный момент расчет минимальных норм, которые указываются в техническо-распорядительных актах станций, производится при помощи программы ИСУЖТ ТС, разработанной АО «НИИАС». Однако рассматриваемый в настоящей статье вопрос остается актуальным, что связано с замеченными авторами несоответствиями между минимальными нормами закрепления, рассчитанными вручную, и результатами расчета при помощи указанной программы. Более

того, о проблемах, связанных с формализацией в системе АС ТРА норм закрепления, в отраслевых газетах пишут сами железнодорожники [4].

В целом проблема применения норм закрепления подвижного состава лежит несколько глубже, о чем упоминается в статьях [5–7]. Авторами предлагается начать разбираться в данной проблеме с корректного расчета приведенного уклона, от которого напрямую зависит количество тормозных башмаков и, соответственно, время на выполнение операций по закреплению.

Основные положения расчета приведенного уклона

В общем виде приведенный уклон определяется по формуле (1), исходя из рис. 1 и выводов, изложенных в [8]. Стоит отметить, что наука о тяге поездов накладывает на область применения формулы (1) некоторые ограничения для уменьшения погрешностей в расчетах, связанных с пренебрежением разностью скоростей движения по отдельным элементам профиля [9]. По смыслу решаемой задачи в данном случае это обстоятельство не имеет значения. Учитывая сравнительно небольшую разность уклонов смежных элементов продольного профиля пути на отдельных пунктах с путевым развитием и рассмотрение случая неподвижности закрепленного состава, проверка на допустимость спрямления продольного профиля может не производиться, что не противоречит [3].

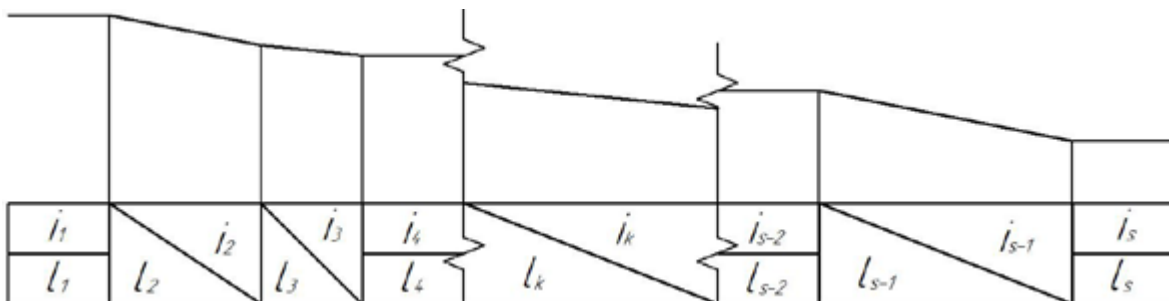


Рис. 1. Пример произвольного профиля пути на станции

$$i_p = \frac{\sum_{k=1}^s i_k \cdot l_k}{\sum_{k=1}^s l_k}, \quad (1)$$

где i_k — уклон k -го элемента;
 l_k — длина k -го элемента;
 s — число элементов.

Несмотря на несложную расчетную формулу, поиск значения приведенного уклона преобразуется в сложную задачу, когда расположение вагонов, группы вагонов или состава поезда на пути неизвестно, а полезная длина пути превышает длину закрепляемого подвижного состава.

Решить данную задачу возможно различными способами, но, если не требуется оптимизация порядка нахождения приведенного уклона, его наибольшее значение при наименее благоприятном расположении оставляемых без локомотива вагонов можно найти перебором вариантов их местоположения на пути.

Перебор вариантов расположения вагонов на пути целесообразно начинать с одного из крайних положений. Обозначим через l_c длину закрепляемой группы вагонов. В любом случае расположения этой группы в пределах полезной длины пути группа разместится на n -м числе элементов продольного профиля, занимая их целиком, а на $n + 1$ элементе будет располагаться только часть группы. На рис. 2 приведена описываемая ситуация, когда первый и второй элементы продольного профиля заняты целиком, а на третьем элементе находится лишь часть группы, длина которой определяется как сумма всех длин занимаемых элементов за вычетом оставшегося незанятым отрезка $n + 1$ элемента.

Дальнейший перебор вариантов следует начинать от начала следующего элемента продольного профиля пути. Связано это с тем, что уклон дает наибольший вклад в определение приведенного уклона в том случае, когда элемент занят целиком, что является прямым следствием формулы (1). На рис. 3 показано перемещение группы вагонов, которое соответствует изложенному суждению.

Заметим, что в зависимости от длины элементов, при расчете от начала следующего элемента продольного профиля, могут сложиться ситуации, изображенные на рис. 4 и 5.

С точки зрения математики приведенный уклон z при расположении состава длиной l_c так, что его начало совпадает с началом элемента x продольного профиля с известными уклонами i и длинами l элементов, составляет:

$$z_x = \frac{\sum_{j=x}^{a-1} i_j \cdot l_j + i_a \left(l_c - \sum_{j=x}^{a-1} l_j \right)}{l_c}, \quad \begin{cases} \sum_{j=x}^{a-1} l_j < l_c; \\ \sum_{j=x}^a l_j \geq l_c, \end{cases} \quad (2)$$

где a — номер элемента продольного профиля пути, который при переборе вариантов расположения закрепляемого подвижного состава занят частично.

Учесть все изображенные на рис. 2–5 варианты возможно через задание цикла накопления суммы длин элементов продольного профиля до тех пор, пока она не станет больше или хотя бы равна длине закрепляемой группы вагонов, а затем при вычитании начальных элементов каждый раз проверять, не нарушилось ли данное условие. При нарушении условия добавлять последующие элементы. Также необходимо повторить приведенный расчет с другой стороны пути.

Следует отметить, что формула (2) справедлива для различных типов продольного профиля пути: пилообразного, выпуклого, вогнутого, монотонного. Направление уклона каждого элемента продольного профиля пути учитывается знаком. Например, значение уклона $i = 1,5 \%$ соответствует подъему слева направо, а значение уклона $i = -2,4 \%$ свидетельствует о наличии спуска слева направо. Расчет приведенного уклона осуществляется с учетом знаков уклонов всех элементов продольного профиля пути, что позволяет применять ниже изложенный алгоритм для любого типа продольного профиля.

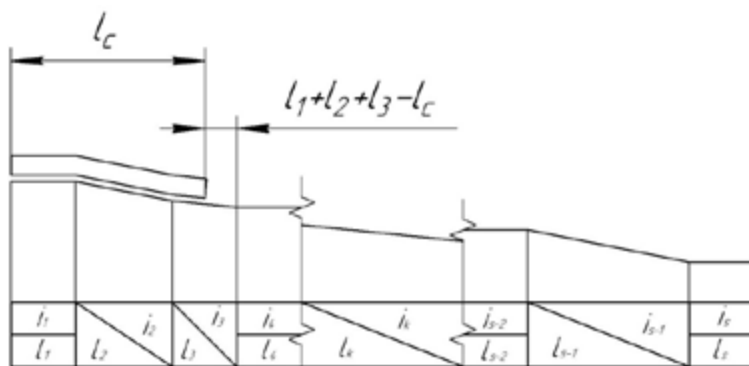


Рис. 2. Схема расположения группы вагонов в начале пути

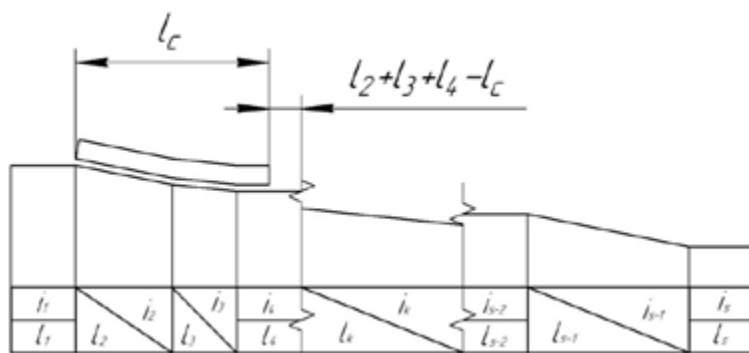


Рис. 3. Схема расположения группы вагонов при следующей итерации

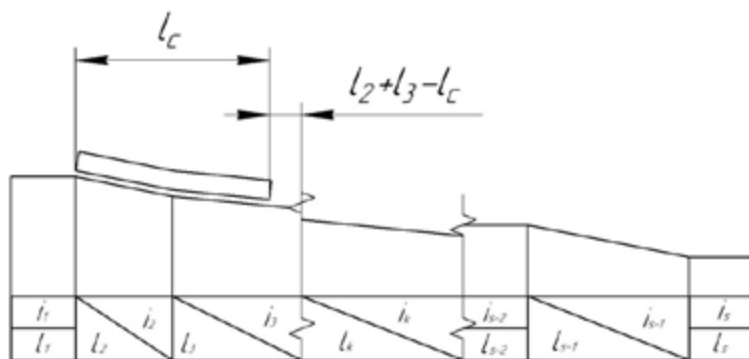


Рис. 4. Вариант схемы расположения группы вагонов при следующей итерации

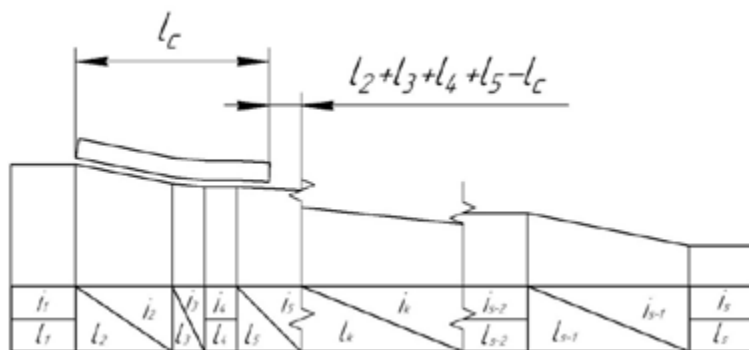


Рис. 5. Вариант схемы расположения группы вагонов при следующей итерации

Разработка алгоритма расчета приведенного уклона

Основываясь на указанных выше рассуждениях, была разработана схема алгоритма расчета максимально возможного приведенного уклона. Схема алгоритма приведена на рис. 6.

Разработанная схема алгоритма для написания в дальнейшем программного кода предполагает следующую последовательность действий:

1. После запуска программы (блок 1) в блоке 2 пользователю предлагается ввести исходные данные: длину состава в условных вагонах d , количество осей n в составе, данные о продольном профиле пути в виде векторов уклонов $\{I\}$ и длин элементов $\{L\}$.

2. В блоке 3 переменной «flag» логического типа устанавливается значение «true», которое в дальнейшем будет изменено для недопущения заикливания программы самой на себя.

3. Блоками 4–8 проверяется правильность ввода исходных данных. Вычисляется, не превышает ли длина состава сумму длин элементов пути, на котором он оставляется. В случае, когда состав выходит за пределы пути, блоком 9 пользователю выдается сообщение об ошибке и блоком 10 программа завершает расчет.

4. Если состав может быть размещен в пределах пути, блоками 11–14 производится накопление переменной s суммы длин элементов продольного профиля. Накопление производится начиная с первого элемента и до момента, пока переменная s не станет больше или хотя бы равна длине состава.

5. Блоком 15 устанавливаются значения буферных переменных.

6. Блоком 16 проверяется, производится первый расчет или нет;

7. Блоками 17–19 производится накопление суммы произведений уклонов элементов продольного профиля и соответствующих им длин p до того элемента, на котором закрепляемый состав расположен лишь частично.

8. Блоком 20 сумма p дополняется произведением уклона элемента продольного профиля, на котором состав располагается частично, и длины этой части.

9. Блоком 21 исходя из накопленной суммы произведений p и длины состава d производится расчет x приведенного уклона.

10. Блоком 22 переменная x увеличивается, что позволяет перейти к следующему расчету.

11. Блоком 23 из ранее рассчитанной переменной s вычитается длина начального элемента продольного профиля. Если проверенная блоком 24 итоговая величина s меньше длины состава, то блоками 27 и 28 она дополняется следующими элементами до момента, пока не станет больше или хотя бы равной длине состава d .

12. Блоком 25 устанавливаются значения буферных переменных для дальнейшего расчета.

13. Блоком 26 проверяется, не достиг ли расчет предела в количестве используемых элементов продольного профиля. Если накопление переменной s не дало результата, большего или хотя бы равного длине состава, а все элементы продольного профиля использованы, происходит выход из цикла.

14. После выхода из цикла блоком 29 проверяется значение переменной «flag» логического типа, а блоком 30 устанавливаются максимальное и минимальное значения приведенного уклона из всех накопленных в буферном векторе $\{Z\}$.

15. Блоками 31–49 производится смена номеров уклонов и длин элементов продольного профиля, что позволит произвести расчет приведенных уклонов не слева направо (исходя из рис. 2–5), а справа налево.

16. В блоке 50 переменной «flag» логического типа устанавливается значение «false» для недопущения заикливания программы самой на себя.

17. Операции в блоках 11–29 производятся повторно с учетом смены номеров уклонов и длин элементов продольного профиля.

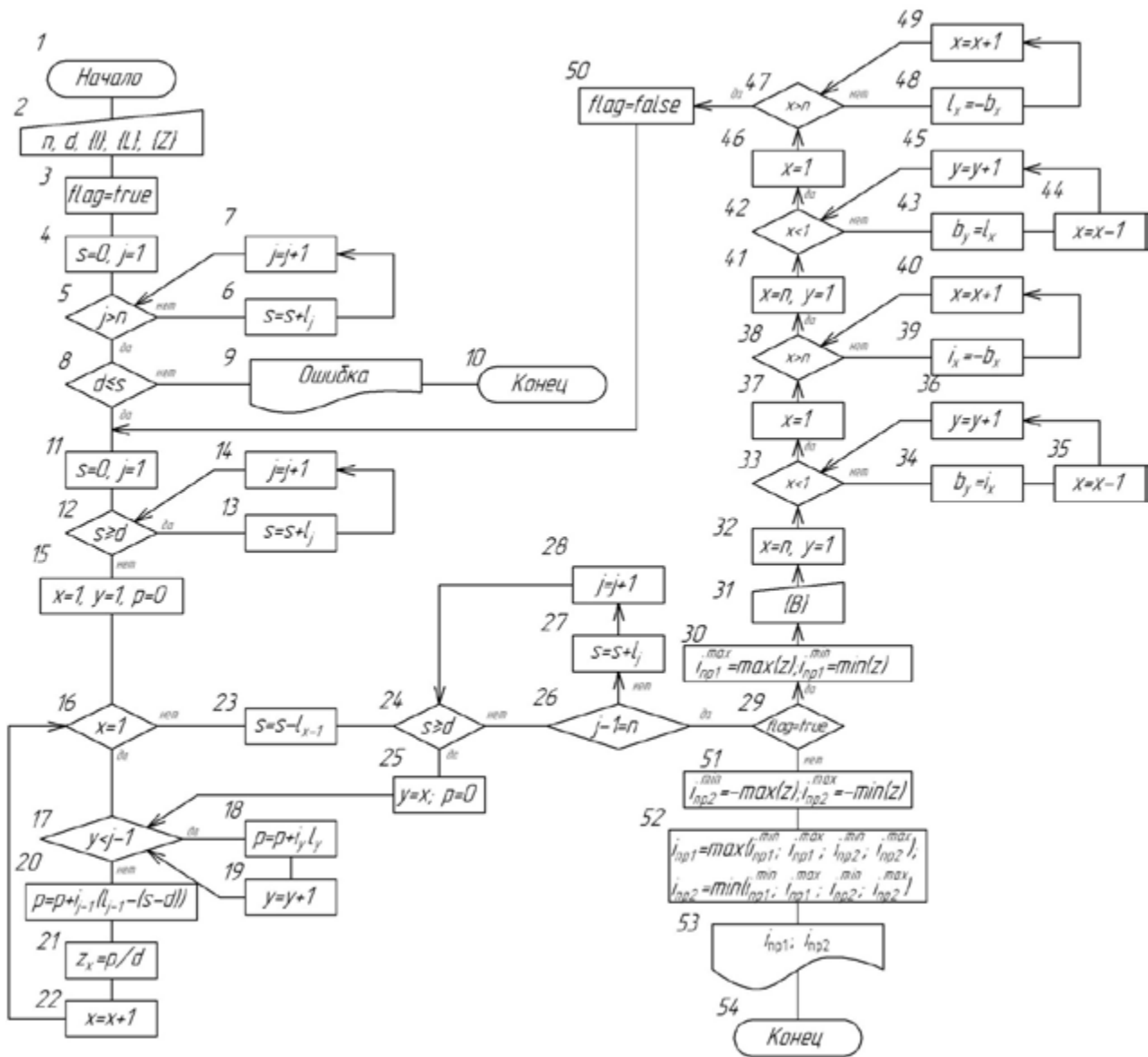


Рис. 6. Схема алгоритма расчета приведенного уклона

18. Блоком 51 устанавливаются максимальное и минимальное значения приведенного уклона из вновь накопленных уклонов в буферном векторе $\{Z\}$.

19. Блоком 52 из полученных четырех значений уклонов отбираются максимальное и минимальное значения с учетом разворота элементов продольного профиля.

20. Блоком 53 пользователю выводятся максимальное и минимальное значения приведенного уклона.

21. Блоком 54 производится завершение работы программы.

Заключение и выводы

Разработанная схема алгоритма позволяет написать программный код для определения максимально возможного приведенного уклона. Такой код может быть положен в основу программы для расчета норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками на путях станций. Алгоритмом предполагается нахождение максимально возможного приведенного уклона при расположении группы вагонов на путях с ломаным профилем. Основывая расчет для неблагоприятного расположения подвижного состава на пути,

закрепляемый состав будет надежно закреплен от ухода, что отвечает требованиям [3].

Правильность расчета приведенного уклона необходима и для того, чтобы не допустить превышения норм закрепления. Превышение минимальных норм закрепления приводит к повышению нагрузки на работников станций, участвующих в операциях по закреплению. Необходимость снижения таких нагрузок подробно описывается в [10].

Исследования, изложенные в настоящей статье, позволят в дальнейшем изучить зависимости между продольным профилем станционных путей, расчетными формулами для норм закрепления подвижного состава, способом закрепления (с накатом колес на полз и без наката) на время, необходимое для выполнения операций по закреплению.

Библиографический список

1. Буканов М. А. Справочник дежурного по станции / М. А. Буканов, Л. И. Педь, А. А. Шрамов. — М.: Транспорт, 3 изд., перераб. и доп., 1987. — 239 с.
2. Гапеев В. И. Пособие по обеспечению безопасности движения и охране труда: учеб. пособие / В. И. Гапеев, А. А. Крисенко, П. И. Альшевский и др. — Минск: Белорусская железная дорога, 1993. — 263 с.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утв. Минтранс России от 20 июня 2022 г. № 250.
4. Цепя А. В инструкции разъясняется не все / А. Цепя // Гудок. — 2015. — № 193. — URL: <https://gudok.ru/zdr/173/?ID=1312533>.

5. Баранов В. А. Изменение порядка закрепления составов увеличивает расходы / В. А. Баранов, М. В. Стрелков // Гудок. — 2015. — № 3. — URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1249605>.

6. Серов В. Н. Закреплять нужно с двух сторон / В. Н. Серов // Гудок. — 2015. — № 5. — URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1250272>.

7. Иванов П. А. От наших решений порой зависит жизнь человека / П. А. Иванов // Гудок. — 2015. — № 6. — URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1250480>.

8. Осипов С. И. Тяга поездов: учебник для студентов техникумов и колледжей ж/д транспорта / С. И. Осипов, С. С. Осипов. — М.: УМК МПС России, 2000. — 592 с.

9. Черепашенец Р. Г. Вождение поездов: пособие машинисту / Р. Г. Черепашенец, В. А. Бирюков, В. Т. Понкрашов и др. — М.: Транспорт, 1994. — 304 с.

10. Марков Д. П. Стояночные тормозные башмаки для закрепления подвижного состава на станционных путях. Полигонные испытания / Д. П. Марков, И. Н. Воронин, Н. П. Шипулин и др. // Вестник ВНИИЖТ. — М.: ВНИИЖТ, 2016. — С. 308–317.

Дата поступления: 05.10.2022

Решение о публикации: 18.11.2022

Контактная информация:

КОСТЕНКО Владимир Васильевич — канд. техн. наук, доц.; docentkostenko@yandex.ru

СМИРНОВ Сергей Сергеевич — студент;

sss1999@inbox.ru

ЯЗЕВ Денис Викторович — студент;

denchik_yazik167@mail.ru

АЛЕКСАНДРОВ Игорь Павлович — студент;

aleksandrovigor2000@mail.ru

Algorithm Development for Maximum Reduced Slope Calculation at Car Securing on Station Railways by Braking Chairs¹

V. V. Kostenko, S. S. Smirnov, D. V. Yazev, I. P. Alexandrov

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

For citation: Kostenko V. V., Smirnov S. S., Yazev D. V., Aleksandrov I. P. Algorithm Development for Maximum Reduced Slope Calculation at Car Securing on Station Railways by Braking Chairs // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 4, pp. 812–819. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-812-819

Summary

Purpose: The development of machine-friendly calculation algorithm of maximum average (reduced) slope for to define minimal norms for securing cars, groups of cars or train stocks that're left on station railways without locomotives. **Methods:** The set task solving was held by making up the succession of mathematical and logical actions. Mathematical expressions describe flattening of track longitudinal profile, i.e. the calculation of reduced slope. Logical actions describe limitations at pursuing the calculations. **Results:** Calculation algorithm of reduced slope has been made up which takes into account the provisions of Instructions on Train Motion and Shunting Work on Railway Transport of the Russian Federation. **Practical significance:** The developed algorithm allows to pursue the calculation of reduced slope at the least favorable conditions of the placement of cars, group of cars and stocks of trains in the frames of effective length of station tracks that corresponds to provision conditions for rolling stock securing from leaving. The pursued research allows to develop program for defining minimal norms for securing cars, groups of cars and stocks of trains that're left on station railways without locomotives, in full accordance with Instructions on Train Motion and Shunting Work on Railway Transport of the Russian Federation.

Keywords: Average slope, reduced slope, longitudinal profile flattening, braking chair, rolling stock securing, rolling stock securing norms.

References

1. Bukanov M. A., Ped' L. I., Shramov A. A. *Spravochnik dezhurnogo po stantsii* [Station Attendant's Handbook]. Moscow: Transport Publ., 3 izd., pererab. i dop., 1987, 239 p. (In Russian)

2. Gapeev V. I., Krisenko A. A., Al'shevskiy P. I. *Posobie po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya i okhrane truda: ucheb. posobie* [Manual for ensuring traffic safety and labor protection: textbook. allowance]. Minsk: Belorusskaya zheleznaya doroga Publ., 1993, 263 p. (In Russian)

3. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznnykh dorog Rossiyskoy Federatsii: utv. Mintransom Rossii ot 20 iyunya 2022 g. № 250* [Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation: approved. Ministry of Transport of Russia dated June 20, 2022, № 250]. (In Russian)

4. Tsepa A. V instruktsii raz'yasnyayetsya ne vse [The instructions do not explain everything]. *Gudok* [Horn]. 2015, I. 193. Available at: <https://gudok.ru/zdr/173/?ID=1312533>. (In Russian)

5. Baranov V. A., Strelkov M. V. *Izmenenie poryadka zakrepleniya sostavov uvelichivaet raskhody* [Changing the order of fastening trains increases costs]. *Gudok* [Horn]. 2015, I. 3. Available at: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1249605>. (In Russian)

6. Serov V. N. *Zakrepyat' nuzhno s dvukh storon* [Attached on both sides]. *Gudok* [Horn]. 2015, I. 5. Available at: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1250272>. (In Russian)

7. Ivanov P. A. *Ot nashikh resheniy poroy zavisit zhizn' cheloveka* [A person's life sometimes depends on our

decisions]. *Gudok* [Horn]. 2015, I. 6. Available at: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1250480>. (In Russian)

8. Osipov S. I., Osipov S. S. *Tyaga poezdov: uchebnik dlya studentov tekhnikumov i kolledzhey zh/d transporta* [Traction of trains: a textbook for students of technical schools and colleges of railway transport]. Moscow: UMK MPS Rossii Publ., 2000, 592 p. (In Russian)

9. Cherepashenets R. G., Biryukov V. A., Ponkrashov V. T. *Vozhdenie poezdov: posobie mashinistu* [Train driving: driver's guide]. Moscow: Transport Publ., 1994, 304 p. (In Russian)

10. Markov D. P., Voronin I. N., Shipulin N. P. *Stoyanochnye tormoznye bashmaki dlya zakrepleniya podvijnogo sostava na stantsionnykh putyakh. Poligonnye ispytaniya* [Parking brake shoes for securing the rolling stock on the station tracks. Field tests]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik VNIIZhT]. Moscow: VNIIZhT, 2016, pp. 308–317. (In Russian)

Received: October 05, 2022

Accepted: November 18, 2022

Author's information:

Vladimir V. KOSTENKO — PhD in Engineering, Associate Professor; docentkostenko@yandex.ru

Sergey S. SMIRNOV — Student; sss1999@inbox.ru

Denis V. YAZEV — Student; denchik_yazik167@mail.ru

Igor P. ALEXANDROV — Student;

aleksandrovigor2000@mail.ru