

УДК 625-14, 625-173, 51-7

В.А. Бабошин, К.Н. Савинов, А.К. Черных, М.Г. Яшин

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Бабошин Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент, окончил Ульяновское высшее военное командное училище связи. Доцент кафедры «Восстановление устройств автоматики, телемеханики и связи на железных дорогах» Военного института (Железнодорожных войск и военных сообщений) Военной академии материально-технического обеспечения (ВА МТО) им. ген. армии А.В. Хрулёва. Ведущий специалист АО «НИИ «Масштаб». Имеет статьи, изобретения в областях анализа (синтеза) информационных систем и математического моделирования, восстановления устройств автоматики, телемеханики и связи. [e-mail: boboberst@mail.ru].

Савинов Константин Николаевич, кандидат военных наук, доцент, окончил Военную академию тыла и транспорта им. ген. армии А.В. Хрулёва. Начальник кафедры «Восстановление устройств автоматики, телемеханики и связи на железных дорогах» Военного института (Железнодорожных войск и военных сообщений) ВА МТО им. ген. армии А.В. Хрулёва. Имеет статьи, монографии, научно-исследовательские работы в области технического прикрытия железных дорог, восстановления устройств автоматики, телемеханики и связи. [e-mail: savinoff@mail.ru].

Черных Андрей Климентьевич, доктор технических наук, доцент, окончил Ленинградский государственный университет им. А.А. Жданова, профессор кафедры «Информатика и математика» Санкт-Петербургского Военного института войск национальной гвардии Российской Федерации. Имеет статьи, изобретения в областях анализа (синтеза) информационных систем и математического моделирования, управления организационными системами. [e-mail: nataliachernykh@mail.ru].

Яшин Михаил Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, окончил Санкт-Петербургский Военный институт (Железнодорожных войск и военных сообщений). Доцент кафедры «Восстановление устройств автоматики, телемеханики и связи на железных дорогах» Военного института (Железнодорожных войск и военных сообщений) ВА МТО им. генерала армии А.В. Хрулёва. Имеет статьи, изобретения в областях анализа (синтеза) информационных систем и математического моделирования, восстановления устройств автоматики, телемеханики и связи. [e-mail: miki771@rambler.ru].

Аннотация

Железнодорожные войска (ЖДВ) Вооружённых Сил Российской Федерации (ВС РФ) предназначены для технического прикрытия, восстановления, разминирования и заграждения участков (объектов) инфраструктуры железнодорожного транспорта (ИЖДТ) РФ в зоне ответственности ВС РФ, повышения её живучести и пропускной способности, а также планирования наведения и эксплуатации наплавных железнодорожных (ЖД) мостов.

Под ИЖДТ понимается «технологический комплекс, включающий в себя подсистемы ИЖДТ, составные части подсистем и элементы составных частей подсистем ИЖДТ, обеспечивающие функционирование этого комплекса» [1].

В задачи ЖДВ входит эксплуатация действующих и строительство новых участков железных дорог, устройства обходов ЖД узлов, строительство временных ЖД мостов в целях обеспечения действий войск [2]. При восстановлении объектов ИЖДТ определяющее значение играет организация управления проведением работ и оперативность восстановления прерванного движения поездов, что в большей степени зависит от подготовки и принятия решений, требующих определённых инженерных расчётов.

В частности, разработка проектной документации для строительства обхода разрушенного участка дороги или ЖД узла требует значительных временных затрат.

В статье рассматриваются вопросы автоматизированного построения продольного профиля обхода, которое позволяет значительно сократить сроки подготовки проектной документации, в том числе и для прокладки кабельных линий для восстановления регулирования движения поездов.

Ключевые слова: инфраструктура железнодорожного транспорта, восстановление объектов инфраструктуры, продольный профиль обхода, информационные технологии, автоматизированное проектирование, автоматизация расчётов, математические методы, программное обеспечение.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-4-62-23-32

SOME ISSUES OF ORGANIZATION OF RESTORATION OF RAILWAY INFRASTRUCTURE FACILITIES

Vladimir Aleksandrovich Baboshin, Candidate of Sciences in Engineering, Associate Professor; graduated from the Ulyanovsk Higher Military Command School of Communications; Associate Professor of the Department of Reconstruction of Automatic, Telemechanic, and Communication Devices on Railways at the Military Institute of Railway Troops and Military Communications of the Military Academy of Logistics and Transport n.a. Army General A.V. Khruljov; an author of articles, inventions in the field of analysis (synthesis) of information systems and mathematical modeling, reconstruction of railway automatic and telemechanic devices. e-mail: boboberst@mail.ru.

Konstantin Nikolaevich Savinov, Candidate of Military Sciences, Associate Professor; graduated from the Military Academy of Logistics and Transport n.a. Army General A.V. Khruljov; Head of the Department of Reconstruction of Automation, Telemechanic and Communication Devices on Railways at the Military Institute of Railway Troops and Military Communications of the Military Academy of Logistics and Transport n.a. Army General A.V. Khruljov; an author of articles, monographs, scientific research papers in the field of the technical and engineering coverage of railways, the reconstruction of railway automation and telemechanic devices. e-mail: savinoff@mail.ru.

Andrei Klimentevich Chernykh, Doctor of Sciences in Engineering, Associate Professor; graduated from Leningrad State University n.a. A.A. Zhdanov; Professor of the Department of Informatics and Mathematics at the St. Petersburg Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation; an author of articles, inventions in the field of analysis (synthesis) of information systems and mathematical modeling, organization system control. e-mail: nataliachernykh@mail.ru.

Mikhail Gennadievich Iashin, Candidate of Sciences in Engineering, Associate Professor; graduated from the St. Petersburg Military Institute of Railway Troops and Military Communications; Associate Professor of the Department of Reconstruction of Automation, Telemechanic and Communication Devices on Railways at the Military Institute of Railway Troops and Military Communications of the Military Academy of Logistics and Transport n.a. Army General A.V. Khruljov; an author of articles, inventions in the field of analysis (synthesis) of information systems and mathematical modeling, reconstruction of railway automation and telemechanic devices. e-mail: miki771@rambler.ru.

Abstract

The Railway Troops of the Armed Forces of the Russian Federation are intended for technical cover, restoration, demining and barrage of sections (objects) of the RF railroad transport infrastructure in the RF Armed Forces responsibility zone, increasing its survivability and carrying capacity, as well as planning the guidance and operation of floating railway bridges. The railway infrastructure is understood as "a technological complex, which includes subsystems of railway infrastructure, components of subsystems and elements of components of subsystems of railway infrastructure, ensuring the functioning of this complex" [1].

The tasks of the troops include the operation of existing and construction of new sections of railways, bypassing railway (railway) junctions, the construction of temporary railway bridges in order to ensure the actions of troops [2]. When restoring infrastructure facilities for railroad transport, the organization of work management and the promptness of restoring interrupted train traffic play a decisive role, which largely depends on the preparation and decision-making that requires certain engineering calculations.

In particular, the development of design documentation for the construction of a bypass of a destroyed section of a road or a railway junction requires a significant amount of time. The most time-consuming document of design documentation is the calculation and construction of a longitudinal bypass profile.

The article discusses the issues of automated construction of a longitudinal bypass profile, which can significantly reduce the time required for preparing design documentation, including for laying cable lines to restore the regulation of train traffic.

Keywords: railway transport infrastructure, restoration of infrastructure facilities, longitudinal bypass profile, information technology, computer-aided design, automation of calculations, mathematical methods, software.

ВВЕДЕНИЕ

Восстановление железных дорог – это комплекс организационных, инженерных и технических мероприятий и работ, проводимых на разрушенных железнодорожных (ЖД) объектах и сооружениях для возобновления прерванного движения поездов на направлениях воинских перевозок [2].

При восстановлении жизнедеятельности объектов железнодорожного транспорта (ЖДТ) и ликвидации последствий внешних неблагоприятных воздействий различного характера возникает необходимость достоверного и оперативного определения потребности в материально-технических ресурсах и привлекаемых восстановительных подразделений. Решение комплекса сложных, разноплановых задач по восстановлению прерванного движения поездов в условиях ограниченных временных и материальных ресурсов, можно обеспечить только при наличии устойчивого управления, а также путём внедрения автоматизированных систем управления (АСУ), включающих технологии систем подготовки принятия решений (ППР) и автоматизацию информационно-расчетных задач.

Формирование контуров управления в иерархической АСУ может быть организовано на основе метода аналитической аппроксимации алгоритма распределения с использованием ортогонального преобразования путём решения трёхмерной задачи оптимального распределения объектов управления (ОУ), средств наблюдения (СН) и объектов среды (ОС) [3].

В работе [4] рассматриваются основные методы подготовки принятия информационных решений и предложения по созданию программного комплекса по определению потребности в основных видах ресурсов, предложен метод решения задачи распределения ограниченного целочисленного ресурса сил и средств транспортного обеспечения по объектам технического прикрытия на основе разработки специального программного обеспечения для автоматизации процессов содержательной обработки информации и поддержки принятия решений.

В работе [5] предложен подход к формированию альтернативных вариантов решения на применение сил и средств материально-технического обеспечения железнодорожных войск (ЖДВ) для восстановления объектов инфраструктуры ЖДТ (ИЖДТ) на основе использования методов кластерного анализа, предложена схема выбора вариантов альтернативных решений.

Однако к проектированию организации восстановительных работ на объектах ИЖДТ некоторые традиционные подходы затруднены в силу отсутствия нормативной базы при определении трудозатрат на разборку завалов и поврежденных конструкций и несовершенства методики определения объемов восстановительных работ. Объектом рассмотрения в статье является строительство ЖД пути для организации обхода разрушенного участка или ЖД узла. Железнодорожный путь – подсистема ИЖДТ, включающая в себя верхнее

строение пути, земляное полотно, водоотводные, водопропускные, противодеформационные, защитные и укрепительные сооружения земляного полотна, расположенные в полосе отвода, а также искусственные сооружения [1].

В связи с этим актуальной задачей является определение способов ведения восстановительных работ, обеспечивающих максимизацию эффективности использования имеющихся сил и средств в условиях жестких временных ограничений. Наиболее трудозатратным документом проектной документации являются расчёт и построение продольного профиля обхода разрушенного участка ЖД пути.

Решение подобного класса задач возможно за счёт автоматизации расчётов укрупнённых ресурсных показателей, формирования баз данных для дальнейшего использования в АСУ.

Постановка задачи

Последствия неблагоприятных воздействий различного характера могут являться причиной разрушения объектов ИЖДТ, что приведёт к нарушению пассажирских и грузовых перевозок по железной дороге, в том числе и перевозки войск.

Рассмотрим ситуацию, заключающуюся в необходимости строительства обхода разрушенного участка или ЖД узла в целях восстановления безопасного движения поездов. Строительству обхода предшествует разработка проектной документации, причём, согласно [2], разработка проектной документации при строительстве обхода должна быть завершена в сжатые сроки.

Анализ объёмов расчётов и графических построений в рамках разработки проектной документации для строительства обхода свидетельствует о значительных временных затратах на разработку подобной документации [6, 7].

Данные обстоятельства, по нашему мнению, требуют использования современных информационных технологий и программного обеспечения для ускорения подготовки документов и принятия решения на строительство обхода.

В частности, определённый интерес представляет разработка технологии автоматизированного построения продольного профиля обхода, являющегося наиболее трудоёмким документом проектной документации, на основе математического описания объекта и предложенных расчётных зависимостей.

Следует заметить, что профиль обхода используется и для проектирования прокладки кабельных линий для восстановления регулирования движения поездов подсистемы ЖД автоматики, телемеханики (ЖАТ) и линий оперативно-технологической связи подсистемы связи ИЖДТ [8].

ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ОБХОДА

При изыскании трасс линейных сооружений, к числу которых относится ЖД путь, производится разбивка

пикетажа, измерение углов поворота трассы и съемка ситуации, а для построения в натуре линий проектных уклонов используют нивелиры, теодолиты, а также лазерные приборы. Следует обратить внимание, что работы должны выполняться с необходимой геодезической подготовкой, в пределах существующей основной площадки земляного полотна. Однако эти процессы не являются предметом рассмотрения в данной статье и вынесены в ограничения.

Технология расчёта, реализованная программно с использованием пакета прикладных программ «Mathcad», позволяет минимизировать продолжительность построения продольного профиля обхода и сформировать таблицы его основных показателей (уклоны, проектные и рабочие отметки), проводить в пределах ограниченных временных интервалов многовариантные расчеты.

Фактически решается оптимизационная экономико-математическая задача, которая состоит в нахождении оптимального (максимального или, в данном случае, минимального) значения целевой функции, что широко применяется при моделировании экономических систем [9].

Алгоритм работы программы включает в себя следующие основные этапы для проведения расчётов продольного профиля ЖД пути:

- ввод исходных данных, полученных при изысканиях на местности или с использованием цифровых карт;
- формирование исходных проектных отметок;
- формирование проектных отметок;
- формирование графической модели проектной линии;
- расчёт значения критерия задачи построения продольного профиля;
- расчёт уклонов элементов;
- расчёт междупикетных площадей выемок и насыпей;
- расчёт рабочих отметок ЖД пути [10, 11].

Под профилем понимается чертёж, изображающий вертикальный разрез местности. Характеристиками профиля являются пикеты, точки, отстоящие друг от друга на 100 метров в горизонтальной плоскости. Расстояние между пикетами (пикетный участок) может быть и не равным 100 м (т. н. неправильные пикеты), как правило, они встречаются на криволинейных участках.

Типовая схема продольного профиля приведена на рисунке 1.

Длина элементов профиля для всех видов ремонта железнодорожного пути, кроме подъемочного и планово-предупредительного, как правило, не должна быть менее половины полезной длины приемо-отправочных путей, принятой на перспективу. При подъемочном и планово-предупредительном ремонте профиль проектируется максимально приближенным к существующему, минимальная длина элементов профиля не ограничивается [10].

В качестве ограничений и допущений принято следующее:

1. Уклон элемента профиля не должен превышать величину руководящего уклона.
2. Элементы проектируемого профиля обхода, содержащие последовательно расположенные спуски и подъемы трассы, необходимо разделять элементом с нулевым уклоном (горизонтальный участок трассы).
3. Радиусы сопряжения отдельных смежных участков в вертикальной плоскости, разбивка пикетажа и значения радиусов кривых приведены в таблице 1.
4. Алгебраическая разность уклонов смежных участков профиля не должна превышать 4‰, для элементов длиной более 300 метров – не более 5‰. Руководящий уклон для данного варианта расчетов принят равным 10‰.
5. Грунты из выемок пригодны для отсыпки в насыпь.
6. Длина элементов профиля должна превышать половину полезной длины проектируемых приемо-отправочных путей [11].
7. При проектировании длины отдельных участков необходимо принимать во внимание расчётную длину поезда.

В условиях сформулированных выше ограничений и допущений при обязательном выполнении ограничения (5), предлагаемая математическая модель будет иметь вид [9, 12]:

$$\sum_{i=1}^{I_H} V_{\text{нас}}(x_i) - \sum_{j=1}^{J_B} V_{\text{выемк}}(x_j) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где I_H – множество участков обхода, на которых необходима отсыпка грунта, шт.,

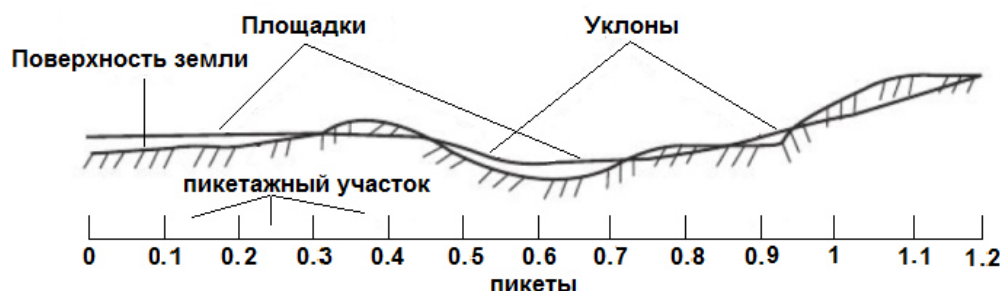


Рис. 1. Схема продольного профиля

J_B – множество участков обхода, на которых необходима выемка грунта, шт.,

$V_{нас,i}(x_i)$ – объем возводимой насыпи на i -м участке обхода, тыс. м³,

$V_{выемк,j}(x_j)$ – объем разрабатываемой выемки на j -м участке обхода, тыс. м³,

x_i – i -й ($i = 1, J_N$) участок обхода, на котором необходима отсыпка грунта,

x_j – j -й ($j = 1, J_B$) участок обхода, на котором необходима выемка грунта.

В ходе вычислений вводятся уточняющие значения объемов перемещаемого грунта, учитывающие значение руководящего уклона [10], а также другие условия, связанные с конкретными особенностями восстановления и наличием сил и средств [11].

$V_{нас,i}^{рук}(x_i)$ – объем насыпи на i -м участке обхода, тыс. м³;

$V_{выемк,j}^{рук}(x_j)$ – объем выемки на j -м участке, тыс. м³.

Выражение (1) является критерием решения задачи построения графической модели профиля обхода [12].

Нормативы, установленные для проектирования продольного профиля приведены в таблице 1 [11].

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ОБХОДА

Алгоритм решения указанной задачи представим в виде совокупности шагов, поясняющих структуру программы.

Шаг 1. Ввод исходных данных. Формирование массивов: $Y_{отзм}$ отметок (земли) высот профиля, L – расстояния между пикетами.

Шаг 2. Масштабирование оси $X(X_j)$; задание контрольной прямой $y_{контр}(x)$, соединяющей проектные

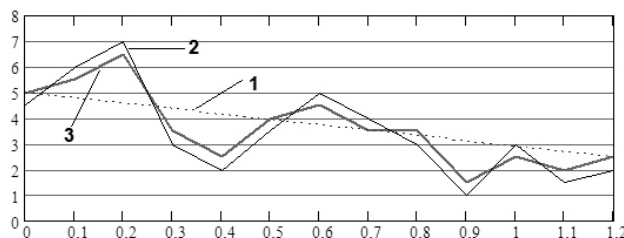


Рис. 2. Графическая модель продольного профиля

отметки граничных пикетов (прямая 1, рис. 2, в данном случае число пикетов равно 12) и позволяющей в первом приближении локализовать места расположения выемок и насыпей.

Формирование массива исходных проектных отметок (YI_{prootm}), путем занижения на величину h отметок земли (линия 2, рис. 2) в границах выемок и возвышения на величину h отметок земли в границах насыпей (линия 3, рис. 2). В качестве значения h здесь используется разность между значениями проектной отметки и отметки земли в нулевом пикете (ПК0).

Замечание 1. Предложенный способ формирования исходного решения задачи не претендует на универсальность и может быть усовершенствован.

Шаг 3. Задание новых значений проектных отметок элементов обхода в массиве Y_{prootm} . Здесь необходимо отметить, что при первой инициализации этого блока значения в массив Y_{prootm} копируются из массива YI_{prootm} при помощи соответствующей процедуры.

Задание этих новых значений осуществляется здесь естественным образом – путем понижения имеющихся значений проектных отметок в выемках, возвышения их в насыпях и организации, при необходимости, горизонтальных элементов трассы с учётом ограничения 2.

Таблица 1

Нормативы для проектирования продольного профиля

Категория	Наибольшая алгебраическая разность уклонов смежных элементов профиля i_H , %, при полезной длине приемо-отправочных путей, м			Наименьшая длина разделительных площадок и элементов переходной крутизны i_H , м, при полезной длине приемо-отправочных путей, м			Радиус вертикальных кривых при сопряжении элементов продольного профиля R_B , м
	850	1050	1700	850	1050	1700	
С, 1	8	5	4	200	250	300	20 000
	13	10	6	200	200	250	15 000
2–3	13	7	7	200	200	250	10 000
	13	10	8	200	200	200	5 000
4–5	13	8	8	200	200	250	5 000
	20	10	10	200	200	200	3 000
6	13	8	8	200	200	200	3 000
	20	10	10	100	150	150	2 000

Примечание. В числителе приведены рекомендуемые значения, в знаменателе – допускаемые.

Замечание 2. Для исключения неоправданного усложнения координатной системы графической модели проектной линии обхода, для приведённого варианта в блоке 3 проведено масштабирование отметок вдоль координаты Y, значения отметок земли и проектных отметок скорректированы путем уменьшения на 90.

Контроль правильности задания новых значений осуществляется на основе:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5	10	-30	-10	15	5	-10	0	-20	10	-5	5

Рис. 3. Массив уклонов элементов обхода UKL (вариант)

- графической модели проектной линии обхода (рис. 2);

- массива UKL расчетных уклонов элементов обхода (рис. 3), определяемого как:

$$UKL_{1,i-1} := \text{floor} \left(\frac{Y_{pr1,i} - Y_{pr1,i-1}}{L_{1,i}} \times 1000 \right);$$

- значения K – критерия для выражения (1);

$$K := \sum_{i=1}^{12} \left[\int_{X_i}^{X_{i+1}} \left[Y_{pr1,i} + \frac{(Y_{pr1,i+1} - Y_{pr1,i}) \times (x - X_i)}{(X_{i+1} - X_i)} \right] - \left[Y_{oz1,i} + \frac{(Y_{oz1,i+1} - Y_{oz1,i}) \times (x - X_i)}{(X_{i+1} - X_i)} \right] dx \right],$$

где (X_i, X_{i+1}) – координата i-го ((i + 1)-го) пикета;

$Y_{pr1,i}$ – проектная отметка в i-м пикете;

$Y_{oz1,i}$ – отметка земли в i-м пикете;

$L_{1,i}$ – длина участка между пикетами.

Замечание 3. Отметим, что критерий (1) применим к величинам, измеряемым в единицах объема, а показатель критерия K, в соответствии с теорией интегрального исчисления [13,14], измеряется в единицах площади. Однако никакого противоречия тут нет, поскольку критерий (1) обладает свойством мультипликативности, что позволяет не учитывать для данного клас-

са расчетов ширину земляного полотна, которая в силу незначительной дисперсии от своего математического ожидания, может быть учтена для этого критерия в постоянном множителе.

Расчёты осуществляются автоматически на основании предварительно введённых данных, как указано в [12].

Заключая обсуждение порядка формирования проектной линии обхода, заметим, что для более тщательного контроля объёма перемещаемого грунта, кроме указанных выше параметров, можно использовать значения показателя S_i – межпикетных площадей выемок и насыпей, определяемых как:

$$S_i := \left[\int_{X_i}^{X_{i+1}} \left[Y_{pr1,i} + \frac{(Y_{pr1,i+1} - Y_{pr1,i}) \times (x - X_i)}{(X_{i+1} - X_i)} \right] - \left[Y_{oz1,i} + \frac{(Y_{oz1,i+1} - Y_{oz1,i}) \times (x - X_i)}{(X_{i+1} - X_i)} \right] dx \right],$$

где (X_i, X_{i+1}) – координата i-го ((i + 1)-го) пикета;

$Y_{pr1,i}$ – проектная отметка в i-м пикете;

$Y_{oz1,i}$ – отметка земли в i-м пикете.

Замечание 4. С учётом замечания (3) и по причине особенностей используемого программного обеспечения, при округлении чисел, имеющих разные знаки, вместо нулевого значения может выдаваться выражение $b \cdot 10^{-n}$, где $0 < b < 2$, а $10 < n < 15$. Однако, данное обстоятельство не влияет на качественную ха-

рактеристику процедуры минимизации объёма перемещаемого грунта (1).

Шаг 4. Формирование рабочих отметок обхода в массиве R_{otm} .

В рамках изложенного алгоритма решения задачи проиллюстрируем многократную инициализацию блока 3 (табл. 2), реализующую итерационную минимизацию целевой функции (1). Для этого последовательно корректируются исходные значения проектных отметок элементов обхода (массив Y_{prootm} , рис. 4), приведенных

в первой строке таблицы 2, отмечая жирным шрифтом в последующих строках этой таблицы их новые вычислен-

ные значения, указывая причины изменения, а также динамику изменения значения показателя K .

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,5	-0,5	-0,5	0,5	0,5	0,5	-0,5	-0,5	0,5	0,5	-0,5	0,5

Рис. 4. Массив проектных отметок обхода (вариант)

Замечание 5. Вертикальные координаты точек проектной линии трассы обхода получены прибавлением к исходному значению числа 90, а горизонтальные – умножением на 1000. Единицы измерения метры.

Продольный профиль проектируется элементами возможно большей длины при наименьшей алгебраической разности уклонов смежных элементов, что учитывается в массиве уклонов элементов обхода.

Исправление искажений продольного профиля следует предусматривать как подъемной пути на балласт при условии соблюдения размеров обочины земляного полотна, так и срезкой существующего балластного

слоя. Данная процедура достаточно проста в реализации и выносится в ограничение (5), в дальнейшем объём работ по исправлению искажений с использованием балласта производится по аналогичному алгоритму.

Замечание 6. Для устранения деформаций и дефектов земляного полотна (просадок, балластных корыт и лож) должна выполняться срезка верхней части земляного полотна ниже дна этих корыт и лож не менее чем на 10 см с устройством защитного слоя.

Объём данного вида выполняемых работ относительно незначителен, но в случае необходимости расчёт может быть скорректирован.

Таблица 2

Пример корректировки элементов массива рабочих отметок обхода Y_{prootm}

Элементы массивов Y_{prootm}												Основание для корректировки	Значение K
95	95.5	96.5	93.5	92.5	94	94.5	93.5	93.5	91.5	92.5	92	-	100
95	95.5	96.5	93.5	93.5	94	94.5	93.5	93.5	91.5	92.5	92	огран. 2	200
95	95.5	95.5	93.5	93.5	94	94.5	93.5	93.5	91.5	92.5	92	огран. 1	100
95	95.5	95.5	93.5	93.5	94	94.5	93.5	93.5	92.5	92.5	92	огран. 2	200
95	95.5	95.5	93.5	93.5	94	94.5	93.5	93.5	92.5	92.5	92.5	огран. 2	250
95	95.5	95.5	93.5	93.5	94	94	93.5	93.5	92.5	92.5	92.5	крит. 1	200
95	95.5	94.5	93.5	93.5	94	94	93.5	93.5	92.5	92.5	92.5	огран. 1	100
95	95	94.5	93.5	93.5	94	94	93.5	93.5	92.5	92.5	92.5	крит. 1	50
95	94.5	94.5	93.5	93.5	94	94	93.5	93.5	92.5	92.5	92.5	крит. 1	0

В каждой строке таблицы 2, начиная со второй, расположены скорректированные значения данных элементов массива Y_{prootm} рабочих отметок обхода (рис. 5).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	95	95,5	96,5	93,5	92,5	94	94,5	93,5	93,5	91,5	92,5	92

Рис. 5. Результаты корректировки массива рабочих отметок обхода (вариант)

Последовательность итераций по результатам расчётов графически отображается на продольном профиле трассы, что позволяет рассмотреть несколько вариантов и выбрать тот, который в большей степени отвечает конкретным условиям строительства обхода и дальнейшему устройству пути.

Результат решения задачи после нескольких итераций приведен на рисунке 6.

Ограничение (5) и критерий минимизации объёма грунта являются нестрогими, а предлагаемый алгоритм

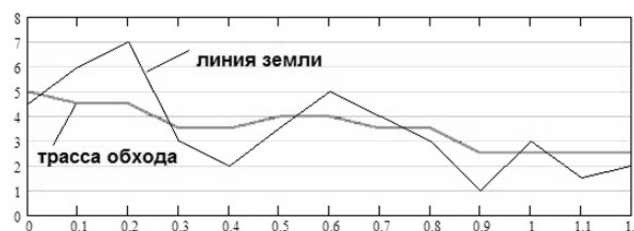


Рис. 6. Результирующая графическая модель профиля обхода (вариант)

позволяет учесть особенности устройства отдельных элементов, входящих в состав проектируемого ЖД пути.

В том случае, если на участке обхода планируется восстановление больше чем одного пути, на прямых участках расстояние между осями первого и второго пути, а также третьего и четвертого путей, проектируется не менее 4,1 м; между осями второго и третьего путей – не менее 5 м. В кривых участках пути эти расстояния увеличиваются в зависимости от радиуса кривых [15].

Данный объём работы может быть определён с незначительными погрешностями в рамках предлагаемого решения путём экстраполяции.

Речь идет об итерационной экономико-математической задаче нахождения оптимального значения целевой функции. Для её решения возможно использование методов линейного или целочисленного программирования, применяемых при моделировании экономических систем [13, 14].

Алгоритм, рассмотренный в рамках данной статьи, может быть реализован в любой программной среде, а также интегрирован в модуль системы поддержки принятия решения АСУ ЖДТ [16, 17].

Таким образом, в статье представлен способ автоматизации графического построения продольного профиля обхода (трассы), включающий формирование его численных характеристик, который обеспечивает минимизацию времени для разработки проектной документации при использовании стандартного прикладного программного обеспечения пакета «Mathcad» [12].

Дальнейшее развитие рассматриваемых предложений, касающихся порядка расчета объемов более сложных профилей с целью оптимизации объема перемещаемого грунта при строительстве с использованием пакета «Mathcad» приведено в работе [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты могут быть использованы в процессе подготовки и переподготовки ЖД специалистов в специализированных учебных заведениях, а также могут представлять интерес для должностных лиц органов управления ЖДВ ВС РФ при планировании применения войск.

Предлагаемое решение позволяет по аналогии выполнять предварительные расчёты для других сооружений, в том числе и искусственных, расположенных в полосе отвода, для решения задач, связанных с минимизацией объемов земляных работ.

Существуют известные решения, решающие сходные информационно-расчётные задачи, в частности, в работе [19] приводится программа автоматизированного расчёта продольного профиля в среде AutoCad, однако она требует более высокой квалификации пользователя, наличия лицензионной копии программного обеспечения и более требовательна к ресурсам вычислительной техники.

Расчёт продольного профиля инженерных сетей в среде AutoCad предлагается в проектной системе «Профиль» [20]. При всех своих достоинствах, программа не имеет локальной офлайновой версии, требует высокой квалификации пользователя, наличия лицензионного программного обеспечения и хорошей производительности вычислительной техники, а также высокоскоростного подключения к сети.

Достоин упоминания программный комплекс «Топоматик Robur – Железные дороги», разработанный НПФ «Топоматик» на основе практического опыта работы инженеров-проектировщиков в области ЖД проектирования и строительства [21]. Он обладает широкими функциональными возможностями, необходимыми для проектирования ЖД сооружений, в том числе:

- создание цифровой модели рельефа;
- проектирование плана трассы ЖД пути;
- проектирование продольного профиля;
- проектирование поперечных профилей;
- подсчет объемов работ по устройству земляного полотна и верхнего строения пути;
- выправка плана (рихтовки).

Программа может работать офлайн, но требует высокой квалификации пользователя, хорошей производительности вычислительной техники, а также высокоскоростного подключения к сети для идентификации легальности программы. Кроме того, на сегодняшний день стоимость одной лицензии составляет около 115000 рублей.

Таким образом, можно сделать вывод, что для предварительных расчётов в условиях жёстких временных ограничений, присущих деятельности ЖДВ ВС РФ, предлагаемое решение имеет неоспоримое преимущество. Кроме того, использование графических средств пакета программ «Mathcad» не сопряжено с высокими требованиями к аппаратной части электронно-вычислительной техники и к квалификации персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТР ТС 003/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». URL: <http://docs.cntd.ru/document/902293439>.
2. Ложечников Г.А., Низов А.С., Попов Д.И. Организация восстановления железных дорог : учеб. Спб. : ВАМТО, 2014. 304 с.
3. Бабошин В.А., Иванов А.К. Оптимальное формирование контуров управления // Автоматизация процессов управления. № 4 (54). 2018. С. 4–11.
4. Элементы оптимизации в плане технического прикрытия объектов на коммуникациях / В.А. Бабошин, К.Н. Савинов, А.К. Черных, М.Г. Яшин // Автоматизация процессов управления. 2020. № 3 (61). С. 4–12.
5. Бабошин В.А., Черных А.К., Яшин М.Г. Подход к оценке зависимости обоснованности решения на применение железнодорожных войск от числа вариантов альтернативных решений // Инновационная железная

дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. : Петергоф, 2020. С. 119–127.

6. Хаткевич Г.Г. Руководство к расчетно-графическим работам по инженерной геодезии. СПб. : ВТУ, 2002.

7. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути, утверждённые распоряжением ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013, ред. от 17.07.2017. URL: <https://www.tdesant.ru/info/item/43>.

8. Крухмалев В.В., Моченов А.Д., Ячменов А.А. Многоканальные телекоммуникационные системы : учеб. пособие. М. : ФГБУ ДПО «УМЦ на ЖДТ», 2018. С. 567–569.

9. Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем : учеб. пособие. М. : Финансы и статистика, 2006. 432 с.

10. Восстановительные работы на железных дорогах / под ред. В.М. Шитова, Н.А. Шолудько. М. : Транспорт, 1993. С. 125.

11. Лиханова О.В., Химич Л.А. Организация и технология ремонта пути : учеб. пособие. М. : ФБГОУ «УМЦ на ЖДТ», 2017. 125 с.

12. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020613720. Автоматизированное построение продольного профиля железнодорожного пути / Черных А.К., Яшин М.Г. ; заявл. 16.03.2020 ; опубл. 23.03.2020. Бюл. № 4.

13. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. М. : Наука, 1966. Т. 1. С. 237–270.

14. Вельмисов П.А., Покладова Ю.В. Дифференциальное исчисление функций нескольких переменных : учеб. пособие. Ульяновск : УЛГТУ, 2012. 52 с.

15. ГОСТ 9238-83. Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9054714>.

16. Черных А.К., Яшин М.Г. Подход к интеллектуализации автоматизированных систем на железнодорожном транспорте // Транспорт России: проблемы и перспективы : матер. междунар. науч.-практ. конф. СПб. : ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2019. С. 135–140.

17. Яшин М.Г., Пантелеев Р.А., Бабошин В.А. Совершенствование автоматизированных систем управления в ЖДВ // I-methods. 2020. Т. 12, № 1. С. 1–15.

18. Use of integrated accounting methods for calculation of the profile volume of embankments / M.S. Abu-Khasan, A.I. Dergachev, E.E. Gorshkova, A.K. Chernykh // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «EarthScience». Apr. 2020. URL: <https://www.researchgate.net/publication/340659391>.

19. Рустем Вилевич. Программа расчета профиля. URL: <https://acad-prog.ru/программа-расчета-профиля>.

20. Проектная система «Профиль». URL: <http://idea-soft.ru/profil>.

21. Топоматик Robur – Железные дороги. URL: <http://www.topomatic.ru/products/6>.

REFERENCES

1. TR TS 003/2011. *Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soiuza "O bezopasnosti infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta"* [TR TS 003/2011. Technical Regulations of the Custom Union on the Safety of Railway Transport Infrastructure]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902293439>.

2. Lozhechnikov G.A., Nizov A.S., Popov D.I. *Organizatsiia vosstanovleniia zheleznykh dorog*. Ucheb. posobie [Organization of Railway Reconstruction. Textbook]. St. Petersburg, VAMTO Publ., 2014. 304 p.

3. Baboshin V.A., Ivanov A.K. *Optimalnoe formirovanie konturov upravleniia* [Optimal Creation of Control Loops]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2018, no. 4 (54), pp. 4–11.

4. Baboshin V.A., Savinov K.N., Chernykh A.K., Iashin M.G. *Elementy optimisatsii v plane tekhnicheskogo prikritiia obektov na kommunikatsiakh* [Optimization Elements in the Plan of Technical Covering of Objects in Communication Lines]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2020, no. 3 (61), pp. 4–12.

5. Baboshin V.A., Chernykh A.K., Iashin M.G. *Podkhod k otsenke zavisimosti obosnovannosti resheniia na primenenie zheleznodorozhnykh voisk ot chisla variantov alternativnykh reshenii* [An Approach for Evaluating the Dependency of the Validity of Decision about Using Railway Troops on the Number of Alternative Solutions]. *Innovatsionnaia zheleznaia doroga. Noveishie i perspektivnye sistemy obespecheniia dvizheniia poezdov*. Sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Proc. of Int. Sci. and Pract. Conf. on Innovative Railway. State-of-the-Art and Advanced Systems of Railway Traffic Support]. Petergof, 2020, pp. 119–127.

6. Khatkevich G.G. *Rukovodstvo k raschetno-graficheskim rabotam po inzhenernoi geodezii* [Manual on Engineering Surveying Calculations and Graphics]. St. Petersburg, VTU Publ., 2002.

7. *Tekhnicheskie usloviia na raboty po rekonstruktsii (modernizatsii) i remontu zheleznodorozhnogo puti, utverzhdennye rasporyazheniem OAO „RZhD“ No. 75r ot 18.01.2013, red. ot 17.07.2017* [Railway Track Reconstruction (Modernisation) and Repair Specifications Approved by an Administrative Order of JSCo RZD, No. 75r, dated January 18, 2013, Revision dated July 17, 2017]. Available at: <https://www.tdesant.ru/info/item/43>.

8. Крухмалев В.В., Моченов А.Д., Ячменов А.А. *Mnogokanalnye telekommunikatsionnye sistemy*. Ucheb. posobie [Multichannel Telecommunication Systems. Textbook]. Moscow, FGBU DPO „UMTs na ZhDT“ Publ., 2018. pp. 567–569.

9. Bereznaia E.V., Bereznoi V.I. *Matematicheskie metody modelirovaniia ekonomicheskikh sistem*. Ucheb. posobie [Mathematical Techniques for Economical Modelling. Textbook]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 2006. 432 p.

10. *Vosstanovitelnye raboty na zheleznykh dorogakh*. Pod red. V.M. Shitova, N.A. Sholudko [Rail Line Restoration.

V.M. Shitov, N.A. Sholudko (eds.]. Moscow, Transport Publ., 1993. 125 p.

11. Likhanova O.B., Khimich L.A. *Organizatsiia i tekhnologiia remonta puti*. Ucheb. posobie [Rail Line Repair Engineering and Technology. Textbook]. Moscow, FBGOU „UMTs na zheleznodorozhnom transporte“ Publ., 2017. 125 p.

12. Chernykh A.K., Iashin M.G. *Avtomatizirovannoe postroenie prodolnogo profil'ia zheleznodorozhnogo puti*. Svidetel'stvo o registratsii programmy dlia EVM RU 2020613720 [Automated Design of Longitudinal Railway-Line Profile. State Registration Certificate of the Computer Program No. 2020613720]. Date of filling: March 16, 2020. Date of publication: March 23, 2020. Bull. no. 4.

13. Fichtenholz G.M. *Kurs differentsialnogo i integralnogo ischisleniia* [Differential and Integral Calculi]. Moscow, Nauka Publ., vol. 1, 1966. pp. 237–270.

14. Vel'misov P.A., Pokladova Iu.V. *Differentsialnoe ischislenie funktsii neskolkikh peremennykh*. Ucheb. posobie [Differential Calculus of the Function of Several Variables. Textbook]. Ulyanovsk, UISTU Publ., 2012. 52 p.

15. *GOST 9238-83. Gabarity priblizheniia stroenii i podvizhnogo sostava zheleznykh dorog kolei 1520 (1524) mm* [State Standard GOST 9238-83. Construction and Rolling Stock Clearance Diagrams for the Railways of 1520 (1524) mm Gauge]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/9054714>.

16. Chernykh A.K., Iashin M.G. Podkhod k intellektualizatsii avtomatizirovannykh sistem na

zheleznodorozhnom transporte [An Approach to the Intellectualization of Computer-Aided Railway Transport Systems]. *Transport Rossii. Problemy i perspektivy. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. of Int. Sci. and Pract. Conf. on Problems and Development Prospects of the Russian Transport]. St. Petersburg, FGBUN Institut Problem Transporta im. N.S. Solomenko RAN Publ., 2019, pp. 135–140.

17. Iashin M.G., Panteleev R.A., Baboshin V.A. Sovershenstvovanie avtomatizirovannykh sistem upravleniia v ZhDV [Implementation of Automated Control Systems in Railways Troops]. *I-Methods* [Journal I-Methods], 2020, vol. 12, no. 1, pp. 1–15.

18. Abu-Khasan M.S., Dergachev A.I., Gorshkova E.E., Chernykh A.K. Use of Integrated Accounting Methods for Calculation of the Profile Volume of Embankments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience"*. Apr. 2020. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/340659391>.

19. Rustem Vilevich. *Programma rascheta profil'ia* [Program for Profile Calculating]. Available at: <https://acad-prog.ru/programma-rascheta-profil'ia>.

20. *Proektnaia sistema „Profil“* [Project System „Profile“]. Available at: <http://idea-soft.ru/profil>.

21. *Topomatik Robur – Zheleznye dorogi* [Topomatik Robur – Railways. Software Product]. Available at: <http://www.topomatic.ru/products/6>.