ISSN 2077-6896

ВЕСТНИК

ТУВИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ВЫПУСК 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ
И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 1 (58) 2020 г.

VESTNIK

OF TUVAN STATE UNIVERSITY

ISSUE 3. TECHNICAL SCIENCES,
PHYSICAL AND MATHEMATICAL
SCIENCES

ISSN 2077-6896

ВЕСТНИК

ТУВИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 3. Технические и физико-математические науки

№ 1 (58), 2020

Редакционный совет «Вестника ТувГУ»

О. М. Хомушку, доктор философских наук, ректор Тувинского госуниверситета (председатель редакционного совета) (г. Кызыл, Россия); Е. Д. Монгуш, кандидат филологических наук, проректор по научной работе Тувинского государственного университета (главный редактор) (г. Кызыл, Россия); К.К. Ахметов, доктор биологических наук, профессор, декан факультета химических технологий и естествознания Павлодарского госуниверситета (г. Павлодар, Казахстан); Э. П. Бакаева, доктор исторических наук, заместитель директора по научной работе Калмыцкого научного центра РАН (г. Элиста, Россия); Глен Коуэн, профессор, Роял Холлоуэй, Лондонский университет (г. Эгхем, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии); Ян Данилевич, профессор, декан факультета естественной инженерии Вроцлавского технического университета (г. Вроцлав, Польша); З.Ю. Доржу, доктор исторических наук, профессор, заведующий кафедры Отечественной истории Тувинского государственного университета (г. Кызыл, Россия); А. В. Дыбо, доктор филологических наук, член-корреспондент РАН, заведующий сектором урало-алтайских языков Института языкознания РАН (г. Москва, Россия); С. С. Имихелова, доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры русской и зарубежной литературы Бурятского государственного университета (г. Улан-Удэ, Россия); Очир Пурэв, доктор педагогических наук (Sc.D.), ведущий научный сотрудник Национального исследовательского института образования (г. Улан-Батор, Монголия); М.С. Кухта, доктор философских наук, профессор Национального исследовательского Томского политехнического университета, Президент Академии Технической эстетики и дизайна, член Союза дизайнеров России (г. Томск, Россия).

Редакционная коллегия Выпуска 3. Технические и физико-математические науки:

С. А. Болотин, доктор технических наук, профессор кафедры городского хозяйства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (г. Санкт-Петербург, Россия); В. И. Верещагин, доктор технических наук, профессор кафедры технологии силикатов Томского политехнического университета (г. Томск, Россия); Б. К. Кара-Сал, доктор технических наук, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства Тувинского госуниверситета (г. Кызыл, Россия); В. М. Логинов, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики и методики обучения физике Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева (г. Красноярск, Россия); М.Г. Садовский, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отдела вычислительной математики Института вычислительного моделирования СО РАН (г. Красноярск, Россия).

Редактор выпуска - Б. К. Кара-Сал, доктор технических наук

Ответственный секретарь – Р. Н. Сандан, кандидат технических наук.

Учредитель ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»

Свидетельство о регистрации СМИ выдано Роскомнадзором
ПИ № ФС77-49206 от 30 марта 2012 г.
Индекс в каталогах Роспечати 66075

ISSN 2077-6896

VESTNIK

OF TUVAN STATE UNIVERSITY

Issue 3. Technical sciences, physical and mathematical sciences

№ 1 (58), 2020

Vestik of Tuvan State University` Journal

O. M. Khomushku, Doctor of Philosophical Sciences, Rector of Tuvan State University (Chairman of the Editorial Council) (Kyzyl, Russia); Eu. D. Mongush, Candidate of Philological Sciences, Vice-rector for Research work, Tuvan State University (Editor-in-Chief) (Kyzyl, Russia); K.K. Akhmetov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Chemical Technology and Natural Sciences of Pavlodar State University (Pavlodar, Kazakhstan); E. P. Bakayeva, Doctor of Historical Sciences, Deputy Director for Research of the Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Elista, Russia); Glen Cowan, Professor, Royal Holloway, University of London (Egham, Surrey, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland); Ian Danilevich, Professor, Dean of the Faculty of Environmental Engineering of Wroclaw University of Science and Technology (Wroclaw, Poland); Z.Yu. Dorzhu, Doctor of Historical Sciences, Professor, Head of the Department of Russian History of Tuvan State University (Kyzyl, Russia); A.V. Dybo, Doctor of Philology, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Ural-Altaic Languages Sector, Institute of Linguistics, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia); S.S. Imikhelova, Doctor of Philology, Professor, Department of Russian and Foreign Literature, Buryat State University (Ulan-Ude, Russia); Ochir Purev, Doctor of Pedagogical Sciences, Lead Researcher at the National Research Institute of Education (Ulanbaatar, Mongolia); M.S. Kukhta, Doctor of Philosophical Sciences, Professor of the National Research Center of Tomsk Polytechnic University; President of the Academy of Technical Aesthetics and Design, member of the Russian Union of Designers (Tomsk, Russia).

Editorial board of Issue 3. Technical and Physic-Mathematical Sciences:

S.A. Bolotin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Municipal Economy, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Saint-Petesburg, Russia); V.I. Vereschagin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Silicate Technology, Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russia); B.K. Kara-Sal, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Industrial and Civil Construction of Tuvan State University (Kyzyl, Russia); V.M. Loginov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Physics and Methods of Teaching in Physics, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev (Krasnoyarsk, Russia); M.G. Sadovsky, Doctor of Physics and Mathematics, Leading Researcher of the Department of Computational Mathematics of the Institute of Computational Modeling, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk, Russia).

Issue Editor — B.K. Kara-Sal, Doctor of Technical Sciences

Executive Secretary – R.N. Sandan, Candidate of Technical Sciences

Учредитель ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»

Свидетельство о регистрации СМИ выдано Роскомнадзором
ПИ № ФС77-49206 от 30 марта 2012 г.
Индекс в каталогах Роспечати 66075

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Научный журнал **«Вестник Тувинского государственного университета»** принимает материалы для публикации в 2020 году.

Журнал издается Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Тувинский государственный университет» с 2009 года. С этого года Вестник ТувГУ будет выходить в новом формате, внесены изменения в следующие параметры журнала: условия публикации научной статьи, технические требования к оформлению статьи.

Принимаются статьи по технической, физико-математической, филологической, историко-культурной, этнокультурной, юридической, естественной, педагогической, сельскохозяйственной тематике, а также посвященные общественно-политической и культурной жизни Енисейской Сибири.

Научное издание зарегистрировано в Национальном центре ISSN (международные номера сериального издания 2072-8980, 2077-5326, 2077-6896, 2221-0458), включено в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), с 2 квартала 2019 года в научных электронных библиотеках «Киберленинка».

Журнал имеет следующие выпуски:

- *Выпуск 1. Социальные и гуманитарные науки;*
- *Выпуск 2. Естественные и сельскохозяйственные науки;*
- *Выпуск 3. Технические и физико-математические науки;*
- *Выпуск 4. Педагогические науки.*

Периодичность журнала – шестнадцать выпусков в год **по графику**:

- приём материалов в № 1 (четыре выпуска) – **до 1 марта**, издание журнала – март;
- приём материалов в № 2 (четыре выпуска) – **до 1 июня**, издание журнала – июнь.
- приём материалов в № 3 (четыре выпуска) – **до 1 сентября**, издание журнала – сентябрь.
- приём материалов в № 4 (четыре выпуска) – **до 1 декабря**, издание журнала – декабрь.

Публикация в журнале бесплатная.

Статьи и материалы для публикации просим направлять **по адресу: vestnik@tuvsu.ru** (Монгуш Евгений Докурович, к.ф.н., гл. ред.).

Просим обратить внимание на **требования к оформлению материалов (см. Сведения для авторов).**

СОДЕРЖАНИЕ

Опбул Э.К., Ондар Э.Э., Калдар-оол А-Х.Б. ДЕФОРМАЦИОНЫЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 6

Евтюков С.А., Чооду О.А., Сандан Н.Т. ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА 23

Чооду О.А., Монгуш Э.С. ПУТИ СОЗДАНИЯ НОВОЙ МОНИТОРИНГОВОЙ СИСТЕМЫ РЕМОНТА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ И ГОРНЫХ МАШИН 35

Терехов Л.Д., Майны Ш.Б. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ВЫПУСКОВ В Г. КЫЗЫЛ 50

Сандан Н.Т. БРИКЕТИРОВАНИЕ СНЕГА ПРИ УБОРКЕ МАЛЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА 57

Шавыраа Ч.Д. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПЕРЕВОЗОК ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ 66

Дадар А. Х., Самба Э. М. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ ДОЛГОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С ФОРМИРОВАНИЕМ ОПТИМАЛЬНОЙ ОЧЕРЕДИ СТРОИТЕЛЬСТВА 73

CONTENTS

E.K. Opbul, E.E. Ondar, A-Kh.B. Kaldar-ool DEFORMATION MODELS OF CALCULATION OF KNOWLEDGE OF REJECTED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS 6

S.A. Evtyukov, O.A., Choodu, N.T. Sandan OPERATION OF LAND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES IN CLIMATE AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TUVA 23

O.A. Choodu, E.S. Mongush WAYS TO CREATE A NEW MONITORING SYSTEM FOR REPAIRING OF ROAD CONSTRUCTING AND MINING MACHINES 35

L.D. Terekhov, Sh.B. Mainy WAYS TO SOLVE PROBLEMS IN OPERATION OF SEWERAGE IN KYZYL 50

N.T. Sandan SNOW BRIQUETTING WHEN CLEANING SMALL TERRITORIES OF THE REPUBLIC OF TYVA 57

Ch. D. Shavyraa EVALUATION OF QUALITY OF DISABLED PERSONS TRANSPORTATION SERVICE 66

A. Kh. Dadar, E. M. Samba ANALYSIS OF MODERN APPROACHES TO LONG-TERM PLANNING WITH OPTIMAL QUEUING OF CONSTRUCTION WORKS 73

УДК 624.072.221
doi 10.24411/2077-6896-2020-10023

ДЕФОРМАЦИОНЫЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Опбул Э.К.[1], Ондар Э.Э.[2], Калдар-оол А-Х.Б.[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

[2] Тувинский государственный университет, г. Кызыл

DEFORMATION MODELS OF CALCULATION OF KNOWLEDGE OF REJECTED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

E.K. Opbul[1], E.E. Ondar[2], A-Kh.B. Kaldar-ool[2]

[1] Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

[2] Tuvan State University, Kyzyl

В настоящей статье приводятся два практических методов расчета изгибаемых железобетонных элементов, основанных на нелинейной деформационной модели с учетом опытных диаграмм деформирования материалов. Практическая реализация обоих методов выполнена на примере расчета типового ригеля с применением метода последовательного приближения в виде итерационных процедур. Задачей итерационных методов является определение величины максимальной кривизны изгибаемого элемента. В первом случае задача решается посредством уточнения положения нейтральной линии, а во втором случае посредством уточнения конечной жесткости поперечного сечения. Целью обоих методов является деформационная оценка несущей способности элемента путем нахождения краевых деформаций нормального сечения при его максимальной кривизне и сравнение с нормативными допустимыми значениями. Приводятся основные расчетные формулы, оригинальные блок-схемы методов и сравнение расчетных параметров.

Ключевые слова: деформационная модель, изгибаемый железобетонный элемент, прочность, деформации, напряжения, итерация

This article presents two practical methods for calculating bending reinforced concrete elements based on a nonlinear deformation model taking into account experimental diagrams of deformation o materials. The practical implementation o both methods was carried out by the example o calculating a typical crossbar using the method o successive approximation in the form o iterative procedures. The task o iterative methods is to determine the maximum curvature o the bent element. In the first case the problem is solved by clarifying the position o the neutral line, and in the second case by clarifying the final stiffness o the cross section. The goal o both methods is the deformation assessment o the bearing capacity o an element by finding edge deformations o a normal section with its maximum curvature and comparing it with the normative permissible

values. The basic calculation formulas, original flowcharts o methods and comparison o calculated parameters are given.

Keywords: deformation model, flexible reinforced concrete element, strength, deformation, stresses, iteration

Введение

На настоящее время, когда велика опасность возникновения чрезвычайных ситуаций, то любой расчет строительных конструкций зданий и сооружений должен иметь особый подход при строгом соблюдении требований нормативных документов проектирования и строительства. При этом расчет строительных конструкций на основе нелинейной деформационной модели с использованием итерационных процедур может быть отнесен к проверочным или контрольным методам расчета прочности, что практически определяет актуальность тематики статьи. Деформационный метод удобно использовать, когда уже выполнен расчет по предельным состояниям конструкции, или, когда известны параметры армирования и класс бетона, а также геометрия и величина действующей нагрузки.

Целью итерационных вычислений в обоих методах является определение максимальной кривизны элемента, и соответствующей ей относительных деформаций в контролируемых точках нормального сечения. Критерием прочности обоих методов расчета является величина относительных деформаций в бетоне (сжатой зоны) и арматуре (растянутой зоны), полученных расчетным путем и сравнение их с допустимыми нормативными.

Искомая кривизна в первом методе определяется с нахождением нового положения нейтральной линии, а во втором – в зависимости от матрицы жесткостных характеристик каждого малого участка. Важно отметить, что первая итерация начинается с использованием начального модуля упругости для каждого малого участка бетона (арматуры) при определении начального положения нейтральной линии. В последующих итерациях в зависимости от величины относительных деформаций и графика деформирования материалов в расчетных формулах используются либо начальный модуль, либо модуль деформации.

Предлагаемый первый итерационный метод расчета уже освещался в работах [1, 2], но только был адаптирован для сталефиброжелезобетонных изгибаемых конструкций.

Второй рассматриваемый метод нелинейного расчета, основанный на матрице жесткости сечения элемента, выполняется с учетом п.п. 8.1.20-8.1.29, 3.72-3.75, приведенных в нормах [3-5].[1]

1. Диаграммы деформирования материалов

Расчетные формулы для определения напряжений и модулей деформаций получены по [3-5] и представлены на рисунках 1, 2.

Рассматривается типовой ригель РГД 4.56-90: бетон В40, арматура А400. Геометрические размеры и армирование ригеля представлены на рис. 3.

1 В целях сокращения объема статьи приводятся только первые два и последняя (одиннадцатая) итерации расчетов

Предпосылки и допущения: справедлива гипотеза плоских сечений; при определении центра тяжести приведенного поперечного сечения ригеля и для первой итерационного расчета материал ригеля работает в упругой стадии (трещин нет, модули малых участков равны начальному модулю упругости).

а) Расчетные формулы напряжений и модулей для бетона класса В40

При сжатии бетона:

- $0 < \varepsilon_{bi} < 150 \cdot 10^{-5}$: $\sigma_{bi} = R_b \cdot \dfrac{\varepsilon_{bi}}{150 \cdot 10^{-5}}$ МПа; $E'_{bi} = const = \dfrac{R_b}{150 \cdot 10^{-5}} = 14666,7$ МПа.
- $150 \cdot 10^{-5} < \varepsilon_{bi} < 350 \cdot 10^{-5}$: $\sigma_{bi} = R_b = 22$ МПа; $E'_{bi} = \dfrac{R_b}{\varepsilon_{bi}} = \dfrac{22}{\varepsilon_{bi}}$ МПа.

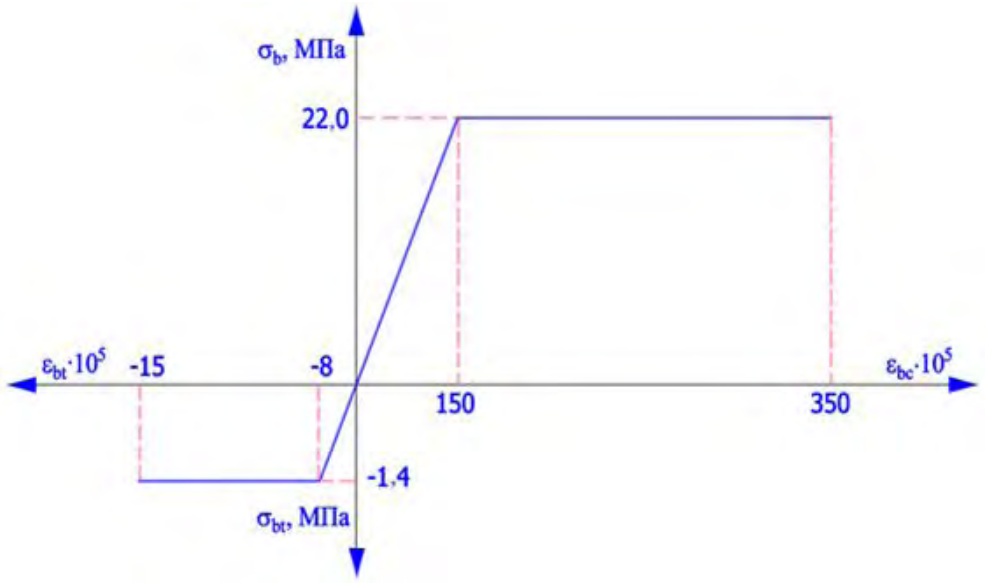

Рис.1. Диаграмма деформирования бетона

При растяжении бетона:

- $0 < \varepsilon_{bti} < 8 \cdot 10^{-5}$: $\sigma_{bti} = R_{bt} \cdot \dfrac{\varepsilon_{bti}}{8 \cdot 10^{-5}}$; $E'_{bti} = \dfrac{R_{bt}}{8 \cdot 10^{-5}} = \dfrac{1.4}{8 \cdot 10^{-5}} = 17500$ МПа.
- $8 \cdot 10^{-5} < \varepsilon_{bti} < 15 \cdot 10^{-5}$: $\sigma_{bti} = R_{bt} = 1,4$ МПа; $E'_{bti} = \dfrac{1,4}{\varepsilon_{bti}}$ МПа.

- б) Расчетные формулы напряжений и модулей для арматуры при растяжении и сжатии:

- $0 < \varepsilon_{si} < 1,775 \cdot 10^{-3}$: $\sigma_{si} = R_s \cdot \dfrac{\varepsilon_{si}}{\varepsilon_{s1}} = 355 \cdot \dfrac{\varepsilon_{si}}{1,775 \cdot 10^{-3}}$ МПа,

где $\varepsilon_{s1} = \dfrac{R_s}{E_s} = \dfrac{355}{2 \cdot 10^5} = 1,775 \cdot 10^{-3}$; $E'_s = E_s$.

- $1,775 \cdot 10^{-3} < \varepsilon_{si} < 25 \cdot 10^{-3}$: $\sigma_{si} = R_s = 355$ МПа, $E'_s = \dfrac{R_s}{\varepsilon_{si}} = \dfrac{355}{\varepsilon_{si}}$ МПа.

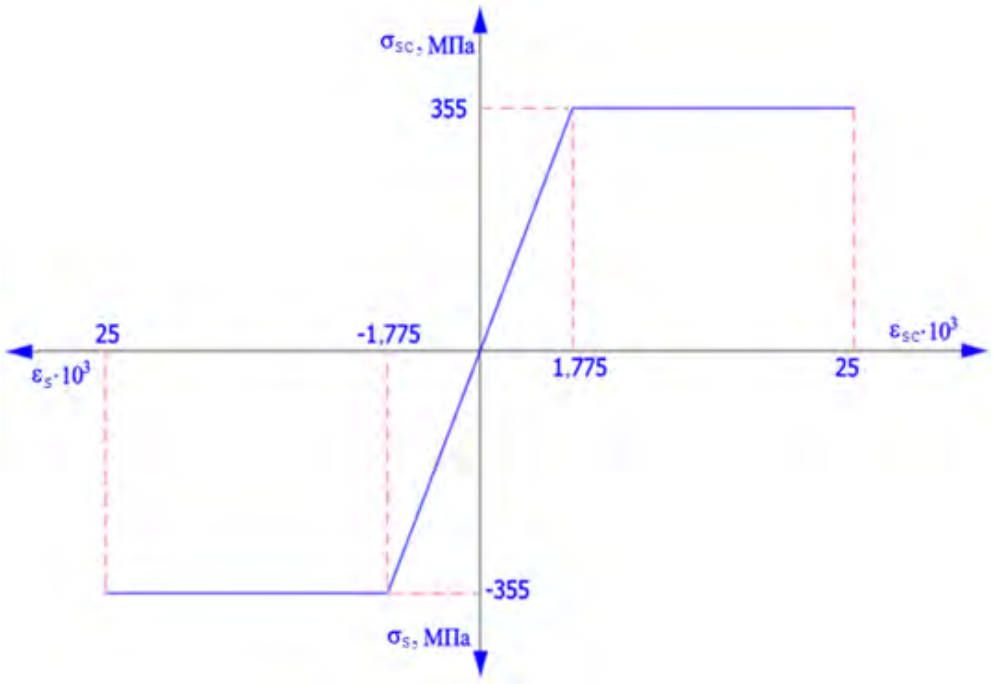

Рис. 2. Диаграмма деформирования арматуры

2. Основные расчетные формулы и блок-схема первого метода

Ниже приведены общеизвестные расчетные формулы [4-11].

А) Центр тяжести приведенного сечения: $y_0 = \frac{S_{red}}{A_{red}}$, (1)

Б) Приведенный статический момент: $S_{red} = \sum A_{bi} y_{bi} + \sum \alpha \cdot A_{si} y_{si}$, (2)

где A_{bi}, A_{si} – площадь сечения соответственно i -го малого участка (слоя) бетона и i -й арматуры; y_{bi}, y_{si} – расстояния от крайнего растянутого волокна соответственно до центра тяжести i -го малого участка бетона и i -й арматуры, α – коэффициент приведения арматуры в бетон.

В) Приведенная площадь сечения: $A_{red} = \sum b_{bi} \cdot \Delta_{bi} + \sum \alpha \cdot A_{si}$, (3)

где b_{bi}, Δ_{bi} - соответственно, ширина и высота (толщина) i -го бетонного малого участка.

Г) Новое положение нейтральной линии (НЛ): $y_{0j} = \frac{\sum E'_{bi} A_{bi} y_{bi} + \sum E'_{si} A_{si} y_{si}}{\sum E'_{bi} A_{bi} + \sum E'_{si} A_{si}}$, (4)

где E'_{bi}, E'_{si} - модули деформации бетона и арматуры.

Д) Кривизна элемента:

$$\frac{1}{r_j} = \frac{M}{EI_{red}} = \frac{M}{\sum E'_{bi} A_{bi} \left(y'_{bi}\right)^2 + \sum E'_{si} A_{si} \left(y'_{si}\right)^2}, \quad (5)$$

где $y'_{bi} = y_{0j} - y_{bi}$, $y'_{si} = y_{0j} - y_{si}$ – плечо пары сил, соответственно для малых участков бетона и арматуры.

Е) Условие, когда наступает максимальная расчётная кривизна $\left(\frac{1}{r_{j,calc}}\right)$:

$$\delta = \frac{\frac{1}{r_j} - \frac{1}{r_{j-1}}}{\frac{1}{r_{j-1}}} \cdot 100\% \le 1\% \quad (6)$$

Ж) Деформации: $\varepsilon_{bi} = \frac{1}{r_j} \cdot y'_{bi};\ \varepsilon_{si} = \frac{1}{r_j} \cdot y'_{si}.$ (7)

З) Условие прочности при котором необходимо соблюдение

- по деформациям $\varepsilon_{bi,calc} < [\varepsilon_{b2}];\quad \varepsilon_{si,calc} < [\varepsilon_{s2}],$ (8)

где $\varepsilon_{bi,calc} = \frac{1}{r_{j,calc}} \cdot y'_{bi},\quad \varepsilon_{si,calc} = \frac{1}{r_{j,calc}} \cdot y'_{si}$ – расчетные деформации;

$[\varepsilon_{b2}], [\varepsilon_{s2}]$ – допустимые деформации по [3-5];

- по усилиям согласно формуле 3.144 [5]:

$M_{calc} = \sum \sigma_{bi} A_{bi} y'_{bi} + \sum \sigma_{si} A_{si} y'_{si} \geq M_{ult}$ (9)

На рис.3 представлена оригинальная блок-схема первого метода расчета, полученного итерационным путем.

3. Расчетные формулы и блок-схема второго метода

А) Используем расчетные формулы 8.26÷8.52 [4], из которых при чистом изгибе определяются только три жесткостные характеристики:

$$\begin{cases} D_{11} = \sum E'_{bi} A_{bi} (y'_{bi})^2 + \sum E'_{si} A_{si} (y'_{si})^2 \\ D_{13} = D_{31} = \sum E'_{bi} A_{bi} y'_{bi} + \sum E'_{si} A_{si} y'_{si} \\ D_{33} = \sum E'_{bi} A_{bi} + \sum E'_{si} A_{si} \end{cases}. \quad (10)$$

Б) Далее вычисляются определитель ($\det A$) матрицы вида $A = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{13} \\ D_{31} & D_{33} \end{vmatrix}$, откуда

$\det A = D_{11} \cdot D_{33} - D_{31} \cdot D_{13}.$ (11)

Обратная матрица $A^{-1} = \frac{1}{\det A} \times A^*,$ (12)

где $A^* = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{vmatrix}$ - матрица алгебраических дополнений, которые равны

$$\begin{cases} A_{11} = (-1)^{1+1} \times D_{33} = D_{33} \\ A_{12} = (-1)^{1+2} \times D_{31} = -D_{31} \\ A_{21} = (-1)^{2+1} \times D_{13} = -D_{13} \\ A_{22} = (-1)^{2+2} \times D_{11} = D_{11} \end{cases}. \quad (13)$$

В) Вычисляются произведение матриц в виде:

$A^{-1} \times \begin{vmatrix} M \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix},$ (14)

где $x_1 = \frac{1}{\rho_j};\quad x_2 = \varepsilon_0.$ (15)

Г) По формулам 8.29, 8.30 [4] с учетом формул (15) определяют относительные деформации в бетоне и арматуре:

$$\begin{cases} \varepsilon_{bi} = \varepsilon_0 + \frac{1}{\rho_j} \cdot y'_{bi} \\ \varepsilon_{si} = \varepsilon_0 + \frac{1}{\rho_j} \cdot y'_{si} \end{cases}. \quad (16)$$

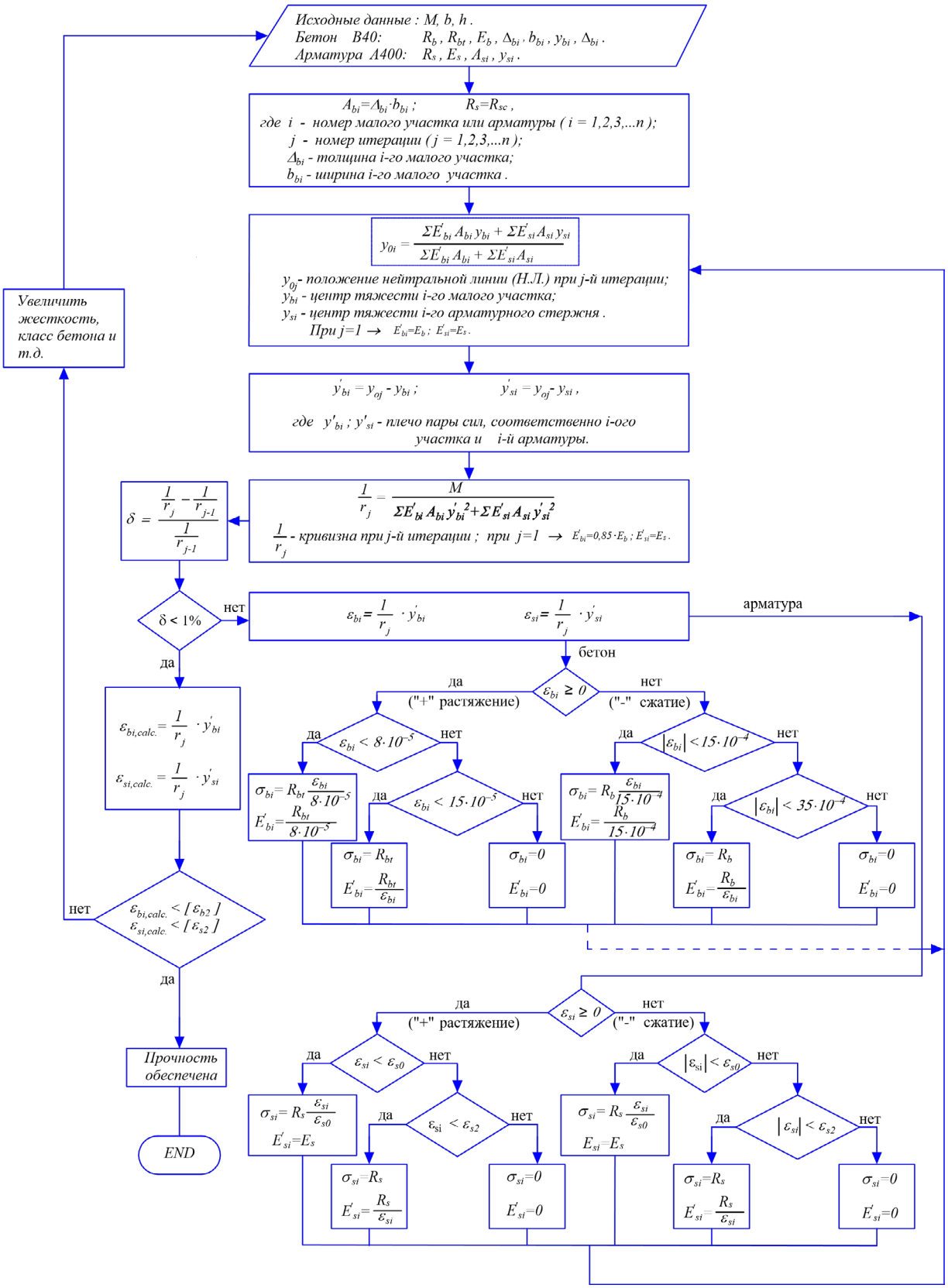

Рис. 3. Блок-схема первого метода

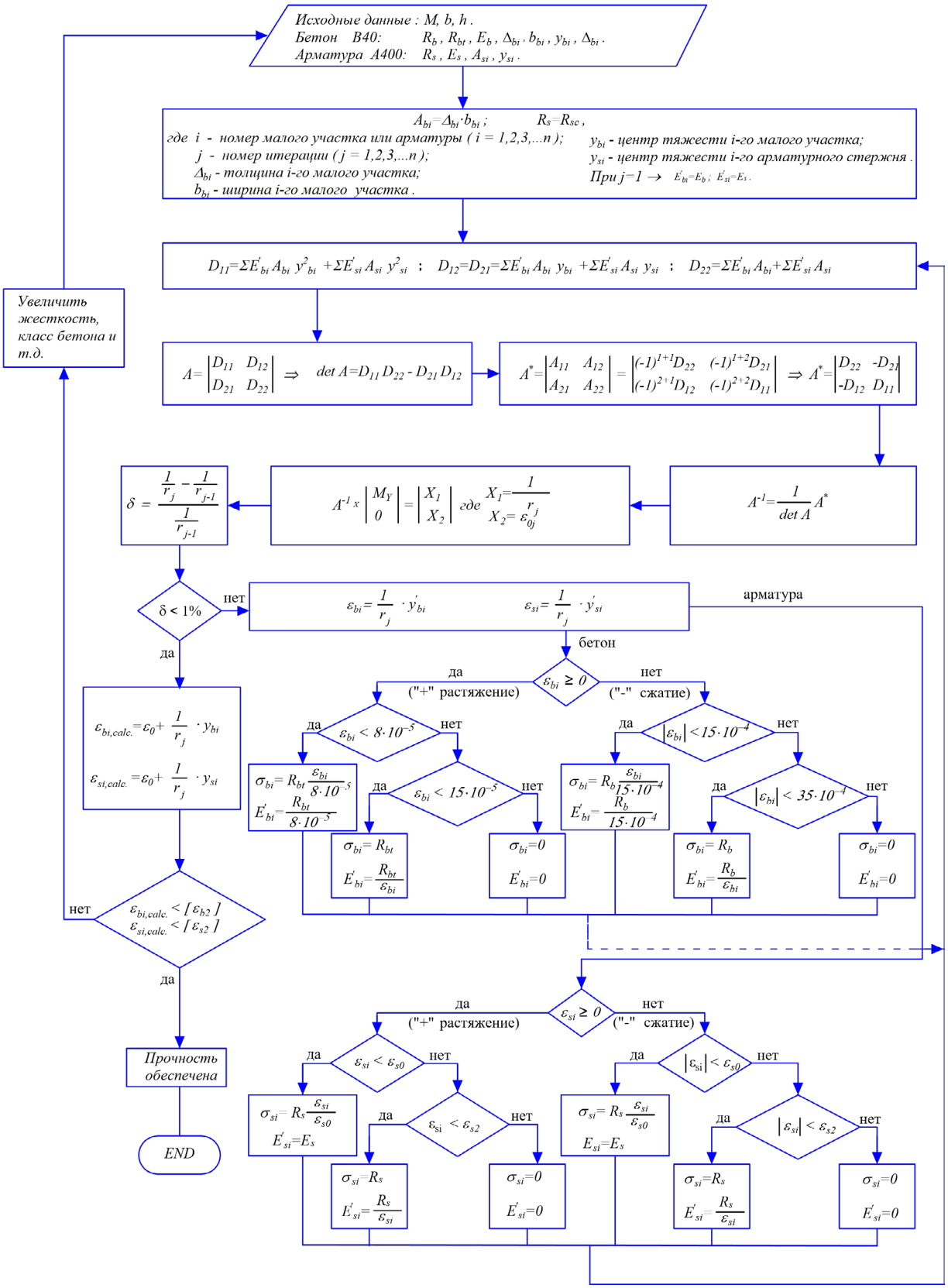

Рис. 4. Блок-схема второго метода

Д) Условие прочности:

- по деформациям – см. формулу (8);
- по усилиям согласно формуле 3.144 [5]:

$$M_{calc} = \sum \sigma_{bi} A_{bi} y_{bi} + \sum \sigma_{si} A_{si} y_{si} \geq M_{ult} \ . \quad (17)$$

На рис. 4 представлена оригинальная блок-схема второго итерационного метода.

4. Определение несущей способности ригеля

Исходные данные:

Класс бетона В40: $R_b = 22$ МПа, $R_{bt} = 1,4$ МПа, $E_b = 36000$ МПа.

Продольная арматура класса А-III:

$R_s = 355$ МПа, $R_{sc} = 355$ МПа, $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Поперечное сечение 570х450 мм, длина ригеля 5400 мм (см. рис. 5).

Высота сжатой зоны:

$$x = \frac{R_s \left(A_{s1} + A_{s2} - A_{s3} \right)}{R_b b} = \frac{355 \cdot \left(3685 + 314 - 402 \right)}{22 \cdot 310} = 187 \text{ мм.}$$

Положение центра тяжести сжатой зоны:

$$y_x = \frac{b \cdot \frac{x^2}{2} + \alpha \cdot A_{s3} \cdot a_s^{'}}{b \cdot x + \alpha \cdot A_s} = \frac{310 \cdot \frac{187^2}{2} + 5,26 \cdot 402 \cdot 38}{310 \cdot 187 + 5,26 \cdot 402} = 92 \text{ мм.}$$

Расчетная несущая способность:

$$M_{ult} = R_s \left[A_{s1} \left(h_0 - y_x \right) + A_{s2} \left(h_0 - y_x - 141 \right) \right] =$$

$$= 355 \cdot \left[3685 \cdot \left(406 - 92 \right) + 314 \cdot \left(406 - 92 - 141 \right) \right] = 430 \cdot 10^6 \text{ Н•мм.}$$

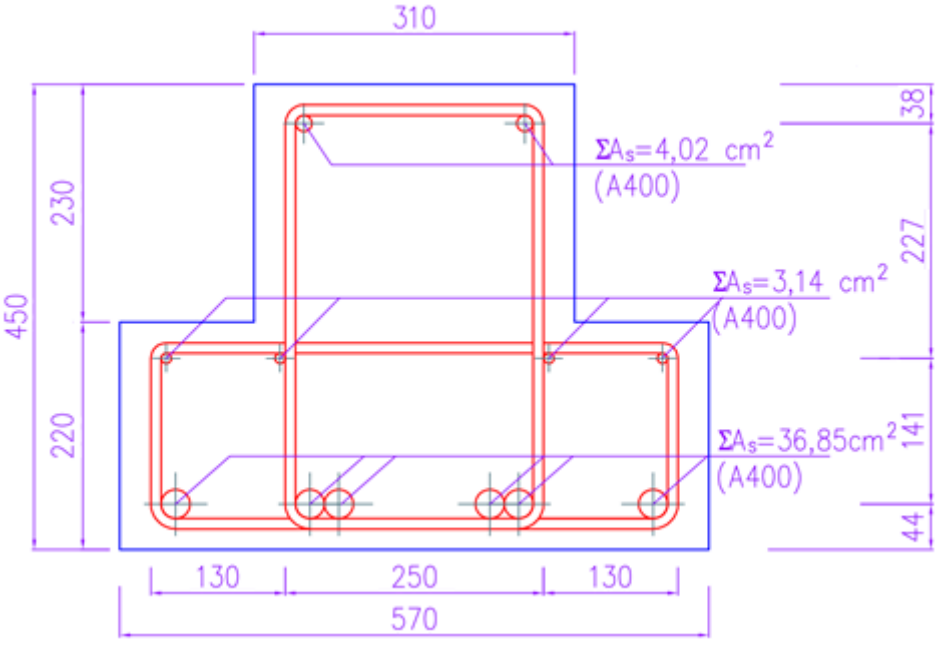

Рис. 5. Поперечное сечение ригеля

5. Разбивка поперечного сечения на малые участки и нахождение центра тяжести каждого участка. Для расчета поперечное сечение элемента произвольно разбиваем на малые участки (см. рис. 6). Для нашего примера имеем тринадцать малых участков. Нумерация участков начинается с нижней растянутой зоны сечения.

В таблице 1 приведены: i – порядковый номер малого участка ; $\Delta_{bi}, y_{bi}, b_{bi}, A_{bi}$ – соответственно, высота, расстояние от крайнего волокна нижней растянутой зоны до центра тяжести, ширина и площадь i-го малого участка бетона; $E_{bi}^{'} = 0,85E_b$ – модуль деформации бетона; $y_{si}, A_{si}, E_{si}^{'} = E_s$ – соответственно, расстояние от крайнего волокна нижней растянутой зоны до центра тяжести, площадь и модуль упругости i-й арматуры; $y_{0j} = y_{01} = 180$ мм - положение нейтральной линии при первой итерации.

Таблица 1. Расчетные параметры малых участков

i	Δ_{bi}	y_{bi}	b_{bi}	A_{bi}	E'_{bi}	y_{si}	A_{si}	E'_{si}	y_{oj}
	см	см	см	$см^2$	МПа	см	$см^2$	МПа	см
1	3	1,5	57	171	3,06E+04				18,01
2	2,8	4,4	57	122,8	3,06E+04	4,4	36,8	2,E+05	
3	4,5	8,05	57	256,5	3,06E+04				
4	4,5	12,55	57	256,5	3,06E+04				
5	3,2	16,4	57	182,4	3,06E+04				
6	1	18,5	57	53,86	3,06E+04	18,5	3,14	2,E+05	
7	3	20,5	57	171	3,06E+04				
8	4,5	24,25	31	139,5	3,06E+04				
9	4,5	28,75	31	139,5	3,06E+04				
10	4,5	33,25	31	139,5	3,06E+04				
11	4,9	37,95	31	151,9	3,06E+04				
12	1,6	41,2	31	45,58	3,06E+04	41,2	4,02	2,E+05	
13	3	43,5	31	93	3,06E+04				

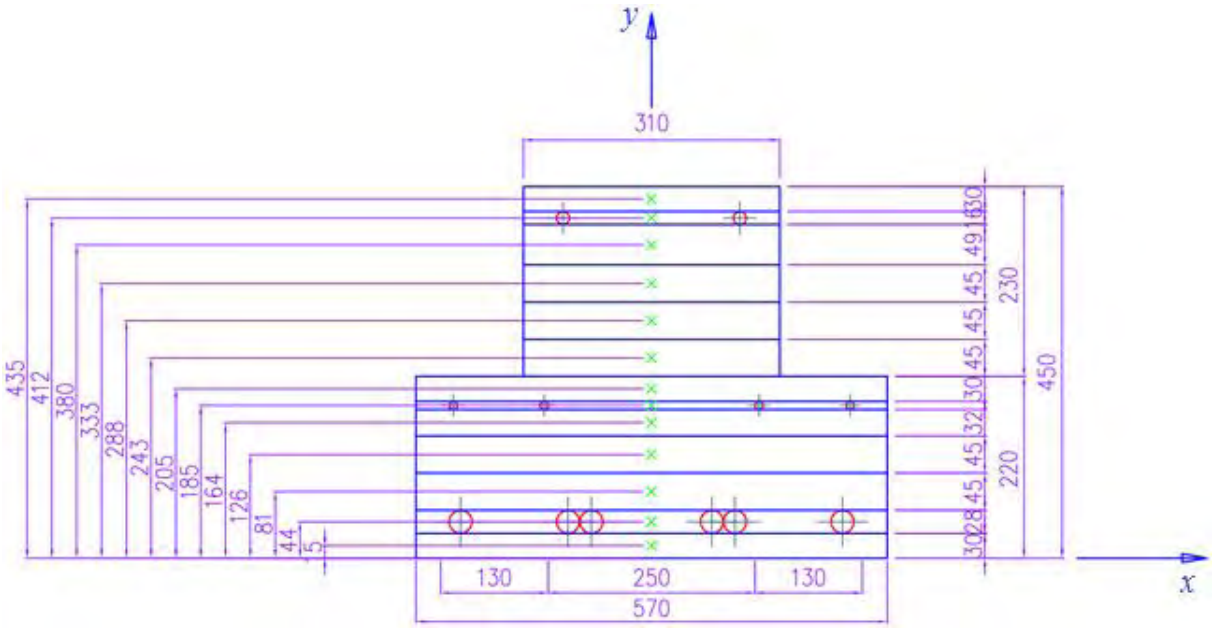

Рис. 6. Разбивка поперечного сечения

В таблицах 2-7 и рисунках 7-12 приводятся результаты итерационных расчетов по первому и второму методам.

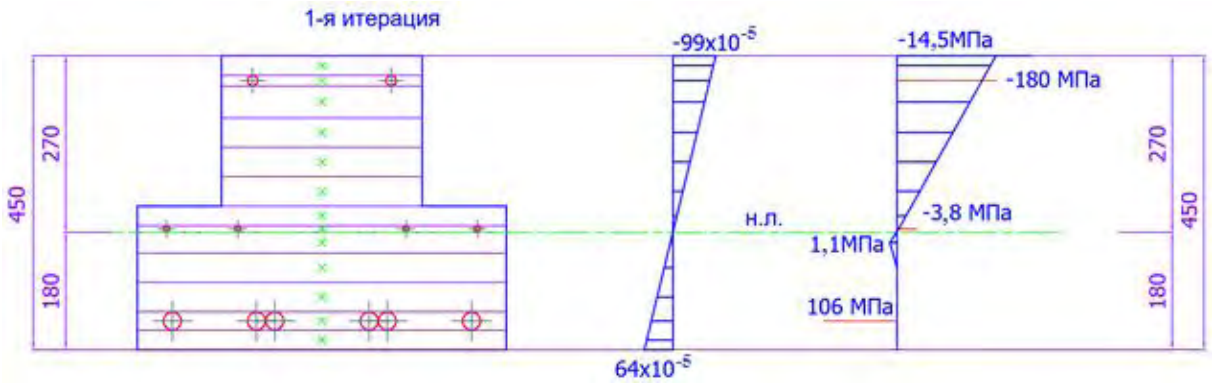

Рис. 7. Первая итерация первого способа

Пример расчета по первому итерационному методу

Таблица 2. Первая итерация первого метода

i	A_{bi}	E'_{bi}	A_{si}	E'_{si}	y_{oj}	y'_{bi}	y'_{si}	$\frac{1}{r_j}$	ε_{bi}	σ_{bi}	ε_{si}	σ_{si}
	см^2	МПа	см^2	МПа	см	см	см	см$^{-1}$		МПа		МПа
1	171	3,06E+04				16,51			6,41E-04	0,00		
2	122,8	3,06E+04	36,8	2,E+05		13,61	13,61		5,29E-04	0,00	5,29E-04	105,7
3	256,5	3,06E+04				9,96			3,87E-04	0,00		
4	256,5	3,06E+04				5,46			2,12E-04	0,00		
5	182,4	3,06E+04				1,61			6,26E-05	1,10		
6	53,86	3,06E+04	3,14	2,E+05		-0,49	-0,49		-1,89E-05	-0,28	-1,89E-05	-3,7846
7	171	3,06E+04			18,01	-2,49		3,88E-05	-9,66E-05	-1,42		
8	139,5	3,06E+04				-6,24			-2,42E-04	-3,55		
9	139,5	3,06E+04				-10,74			-4,17E-04	-6,11		
10	139,5	3,06E+04				-15,24			-5,92E-04	-8,68		
11	151,9	3,06E+04				-19,94			-7,74E-04	-11,35		
12	45,58	3,06E+04	4,02	2,E+05		-23,19	-23,19		-9,00E-04	-13,20	-9,00E-04	-180,05
13	93	3,06E+04				-25,49			-9,90E-04	-14,51		

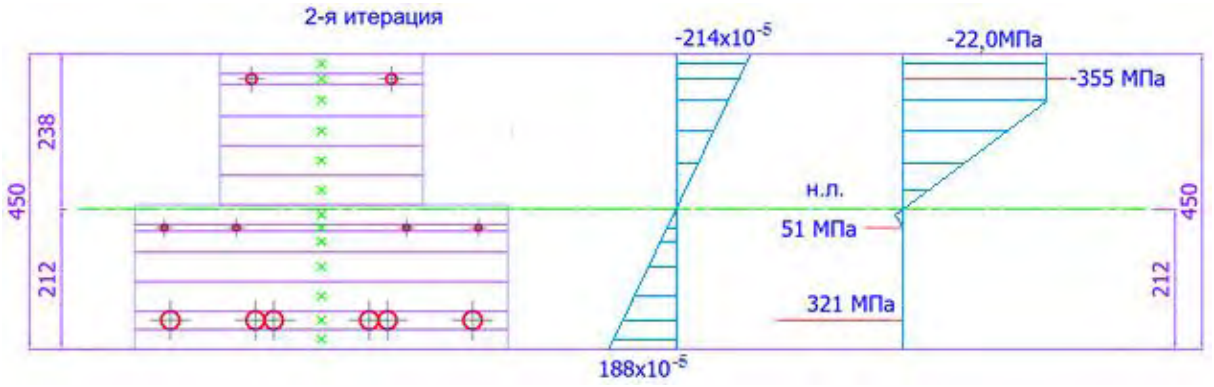

Рис. 8. Вторая итерация первого метода

Таблица 3. Вторая итерация первого метода

i	A_{bi}	E_{bi}	A_{si}	E_{si}	y_{oj}	y_{bi}	y_{si}	$\frac{1}{r_j}$ см$^{-1}$	ε_{bi}	σ_{bi}	ε_{si}	σ_{si}
	см^2	МПа	см^2	МПа	см	см	см			МПа		МПа
1	171	0,00E+00				19,66			1,88E-03	0,00		
2	122,8	0,00E+00	36,8	2,E+05		16,76	16,76		1,61E-03	0,00	1,61E-03	321,2
3	256,5	0,00E+00				13,11			1,26E-03	0,00		
4	256,5	0,00E+00				8,61			8,25E-04	0,00		
5	182,4	1,75E+04				4,76			4,56E-04	0,00		
6	53,86	1,47E+04	3,14	2,E+05		2,66	2,66		2,55E-04	0,00	2,55E-04	50,977
7	171	1,47E+04			21,16	0,66		9,58E-05	6,32E-05	1,11		
8	139,5	1,47E+04				-3,09			-2,96E-04	-4,34		
9	139,5	1,47E+04				-7,59			-7,27E-04	-10,67		
10	139,5	1,47E+04				-12,09			-1,16E-03	-16,99		
11	151,9	1,47E+04				-16,79			-1,61E-03	-22,00		
12	45,58	1,47E+04	4,02	2,E+05		-20,04	-20,04		-1,92E-03	-22,00	-1,92E-03	-355
13	93	1,47E+04				-22,34			-2,14E-03	-22,00		

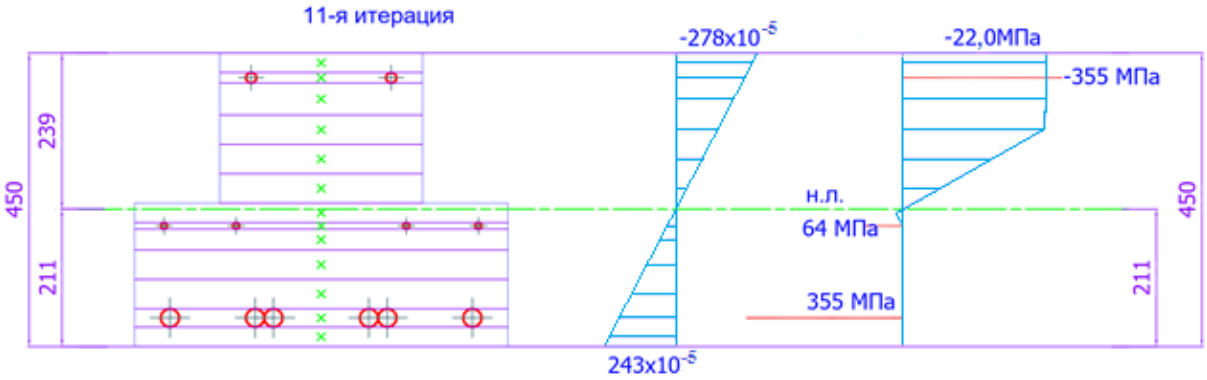

Рис. 9. Одиннадцатая итерация первого метода

Таблица 4. Одиннадцатая итерация первого метода

i	A_{bi}	E'_{bi}	A_{si}	E'_{si}	y_{oj}	y'_{bi}	y'_{si}	$\frac{1}{r_j}$ см$^{-1}$	ε_{bi}	σ_{bi}	ε_{si}	σ_{si}
	см^2	МПа	см^2	МПа	см	см	см			МПа		МПа
1	171	0,00E+00				19,59			2,43E-03	0,00		
2	122,8	0,00E+00	36,8	2,E+05		16,69	16,69		2,07E-03	0,00	2,07E-03	355
3	256,5	0,00E+00				13,04			1,61E-03	0,00		
4	256,5	0,00E+00				8,54			1,06E-03	0,00		
5	182,4	0,00E+00				4,69			5,81E-04	0,00		
6	53,86	0,00E+00	3,14	2,E+05		2,59	2,59		3,21E-04	0,00	3,21E-04	64,175
7	171	1,75E+04			21,09	0,59		1,24E-04	7,32E-05	1,28		
8	139,5	1,47E+04				-3,16			-3,91E-04	-5,74		
9	139,5	1,47E+04				-7,66			-9,48E-04	-13,91		
10	139,5	1,47E+04				-12,16			-1,51E-03	-22,00		
11	151,9	1,06E+04				-16,86			-2,09E-03	-22,00		
12	45,58	8,92E+03	4,02	1,E+05		-20,11	-20,11		-2,49E-03	-22,00	-2,49E-03	-355
13	93	8,01E+03				-22,41			-2,78E-03	-22,00		

Таким образом, суммарный предельный момент по полученным расчетным данным (напряжения, плечо пары сил), приведенных в таблице 4:

$$M_{calc} = \sum \sigma_{bi} A_{bi} y'_{bi} + \sum \sigma_{si} A_{si} y'_{si} = 424,459 \cdot 10^6 \text{ Н•мм}.$$

Высота сжатой зоны с учетом положения нейтральной линии при 11-ой итерации:

$$x = h - y_{011} = 45 - 21,09 = 24,91 \text{ см}.$$

Пример расчета по второму итерационному методу

Относительные деформации определяются в зависимости от жесткостных характеристик каждого малого участка. Определение высоты сжатой зоны и графическое представление НДС сечения при каждой итерации построены в зависимости от вычисленных значений напряжений и деформаций с соблюдением масштаба.

Высот сжатой зоны может быть определена по эпюре деформаций с использованием «признаков подобия треугольников» по формуле:

$$x = \frac{h}{\frac{\varepsilon_1}{|\varepsilon_{13}|} + 1}. \qquad (18)$$

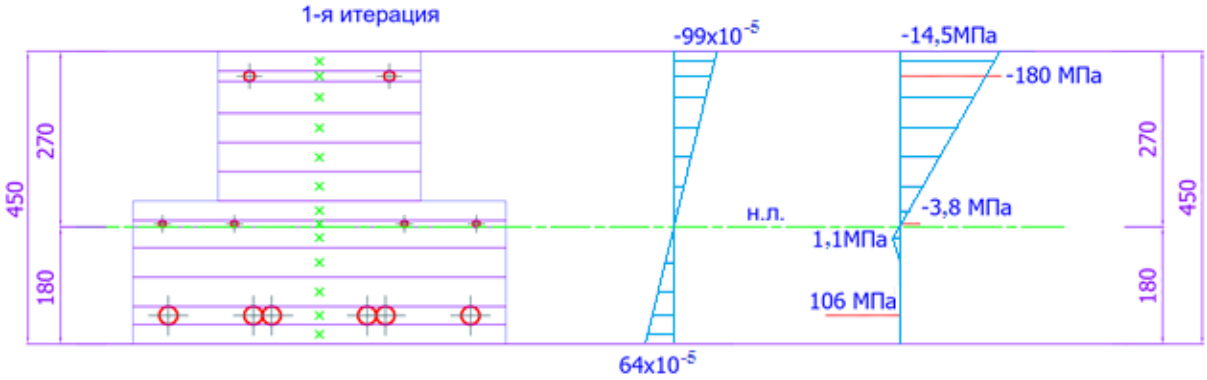

Рис. 10. Первая итерация второго метода

Таблица 5. Первая итерация второго метода

i	Δ	y_{bi}	b_{bi}	A_{bi}	E_{bi}	y_{si}	A_{si}	E'_{si}	ε_{bi}	σ_{bi}	ε_{si}	σ_{si}
	см	см	см	см^2	МПа	см	см^2	МПа		МПа		МПа
1	3	1,5	57	171	3,06E+04				6,41E-04	0,00		
2	2,8	4,4	57	122,8	3,06E+04	4,4	36,8	2,E+05	5,29E-04	0,00	5,29E-04	105,70
3	4,5	8,05	57	256,5	3,06E+04				3,87E-04	0,00		
4	4,5	12,6	57	256,5	3,06E+04				2,12E-04	0,00		
5	3,2	16,4	57	182,4	3,06E+04				6,26E-05	1,10		
6	1	18,5	57	53,86	3,06E+04	18,5	3,14	2,E+05	-1,89E-05	-0,28	-1,89E-05	-3,78
7	3	20,5	57	171	3,06E+04				-9,66E-05	-1,42		
8	4,5	24,3	31	139,5	3,06E+04				-2,42E-04	-3,55		
9	4,5	28,8	31	139,5	3,06E+04				-4,17E-04	-6,11		
10	4,5	33,3	31	139,5	3,06E+04				-5,92E-04	-8,68		
11	4,9	38	31	151,9	3,06E+04				-7,74E-04	-11,35		
12	1,6	41,2	31	45,58	3,06E+04	41,2	4,02	2,E+05	-9,00E-04	-13,20	-9,00E-04	-180,05
13	3	43,5	31	93	3,06E+04				-9,90E-04	-14,51		

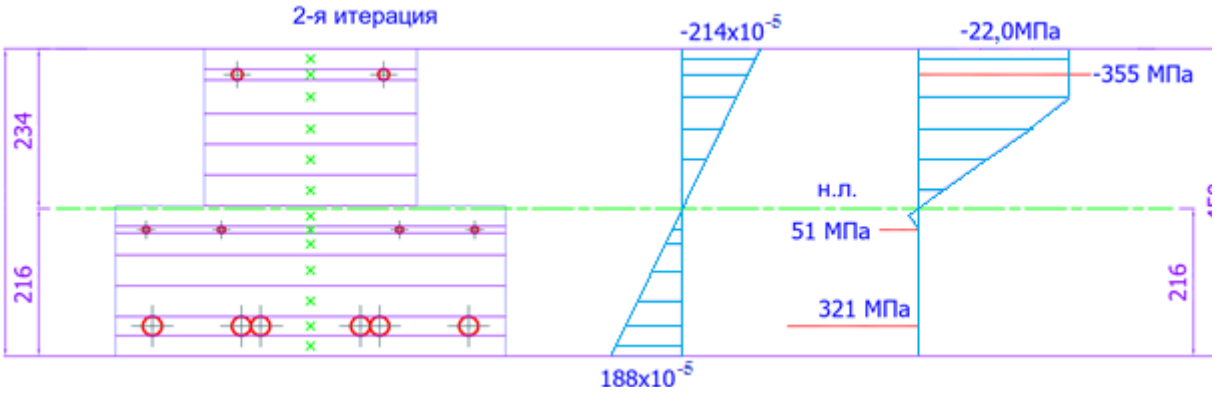

Рис. 11. Вторая итерация второго метода

Таблица 6. Вторая итерация второго метода

i	y_{bi}	b_{bi}	A_{bi}	E_{bi}	y_{si}	A_{si}	E'_{si}	ε_{bi}	σ_{bi}	ε_{si}	σ_{si}
	см	см	$см^2$	МПа	см	$см^2$	МПа		МПа		МПа
1	1,5	57	171	0,00E+00				1,88E-03	0,00		
2	4,4	57	122,8	0,00E+00	4,4	36,8	2,E+05	1,61E-03	0,00	1,61E-03	321,20
3	8,05	57	256,5	0,00E+00				1,26E-03	0,00		
4	12,6	57	256,5	0,00E+00				8,25E-04	0,00		
5	16,4	57	182,4	1,75E+04				4,56E-04	0,00		
6	18,5	57	53,86	1,47E+04	18,5	3,14	2,E+05	2,55E-04	0,00	2,55E-04	50,98
7	20,5	57	171	1,47E+04				6,32E-05	1,11		
8	24,3	31	139,5	1,47E+04				-2,96E-04	-4,34		
9	28,8	31	139,5	1,47E+04				-7,27E-04	-10,67		
10	33,3	31	139,5	1,47E+04				-1,16E-03	-16,99		
11	38	31	151,9	1,47E+04				-1,61E-03	-22,00		
12	41,2	31	45,58	1,47E+04	41,2	4,02	2,E+05	-1,92E-03	-22,00	-1,92E-03	-355,00
13	43,5	31	93	1,47E+04				-2,14E-03	-22,00		

Таблица 7. Одиннадцатая итерация второго метода

i	y_{bi}	b_{bi}	A_{bi}	E_{bi}	y_{si}	A_{si}	E'_{si}	ε_{bi}	σ_{bi}	ε_{si}	σ_{si}
	см	см	$см^2$	МПа	см	$см^2$	МПа		МПа		МПа
1	1,5	57	171	0,00E+00				2,40E-03	0,00		
2	4,4	57	122,8	0,00E+00	4,4	36,8	2,E+05	2,04E-03	0,00	2,04E-03	355,00
3	8,05	57	256,5	0,00E+00				1,59E-03	0,00		
4	12,6	57	256,5	0,00E+00				1,04E-03	0,00		
5	16,4	57	182,4	0,00E+00				5,70E-04	0,00		
6	18,5	57	53,86	0,00E+00	18,5	3,14	2,E+05	3,12E-04	0,00	3,12E-04	62,40
7	20,5	57	171	1,75E+04				6,66E-05	1,17		
8	24,3	31	139,5	1,47E+04				-3,94E-04	-5,77		
9	28,8	31	139,5	1,47E+04				-9,46E-04	-13,87		
10	33,3	31	139,5	1,47E+04				-1,50E-03	-21,97		
11	38	31	151,9	1,07E+04				-2,07E-03	-22,00		
12	41,2	31	45,58	8,99E+03	41,2	4,02	1,E+05	-2,47E-03	-22,00	-2,47E-03	-355,00
13	43,5	31	93	8,07E+03				-2,76E-03	-22,00		

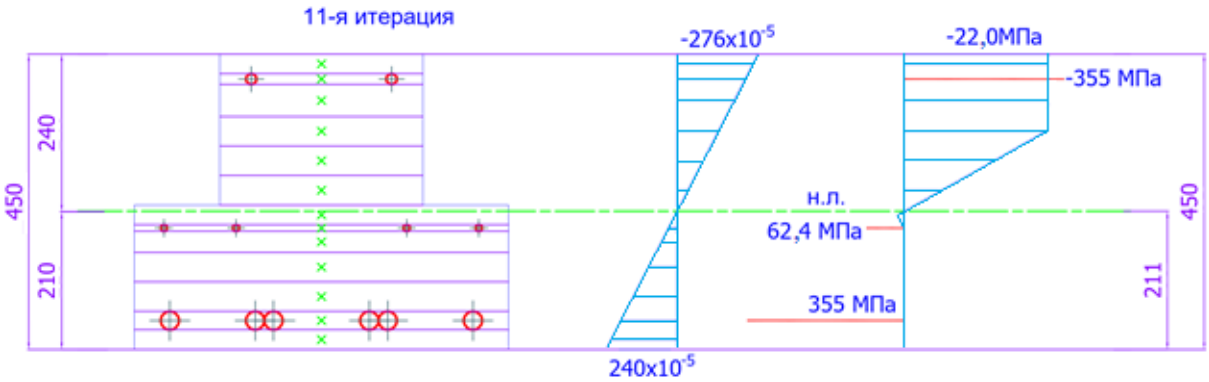

Рис. 12. Одиннадцатая итерация второго метода

Таким образом, суммарный предельный момент по полученным расчетным данным (напряжения, плечо пары) сил, приведенных в таблице 8:

$M_{calc} = \sum \sigma_{bi} A_{bi} y'_{bi} + \sum \sigma_{si} A_{si} y'_{si} = 427,795 \cdot 10^6$ Н•мм или 427,795 кН•м.

Используя «признаков подобия треугольников» через эпюры деформаций определяем высоту сжатой зоны с учетом расчетных данных (см. табл. 7), полученных при 11-ой итерации по формуле (18):

$$x = \frac{h}{\frac{\varepsilon_1}{|\varepsilon_{13}|}+1} = \frac{45}{\frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{2,76 \cdot 10^{-3}}+1} = 24,06$$ см.

Вывод. Достаточно близкие результаты расчетов прочности (с разницей порядка 1%), выполненные по классическому и деформационным методам (см. табл. 8) свидетельствуют об адекватности каждого метода.

Таблиц 8.Сравнение расчетных параметров

Метод расчета	Деформации	Несущая способность, кН·м	Высота сжатой зоны, см
По предельным состояниям	–	430,0	18,7
Деформационный расчет 1	$\varepsilon_{bc,calc} = 2,78 \cdot 10^{-3} < \left[\varepsilon_{b2} = 3,5 \cdot 10^{-3}\right]$ $\varepsilon_{s,calc} = 0,00207 < \left[\varepsilon_{s2} = 0,025\right]$	424,5	24,91
Деформационный расчет 2	$\varepsilon_{bc,calc} = 2,76 \cdot 10^{-3} < \left[\varepsilon_{b2} = 3,5 \cdot 10^{-3}\right]$ $\varepsilon_{s,calc} = 0,00204 < \left[\varepsilon_{s2} = 0,025\right]$	427,8	24,06

Библиографический список

1. Морозов В.И. Расчет изгибаемых сталефиброжелезобетонных элементов по нелинейной деформационной модели с использованием опытных диаграмм деформирования сталефибробетона / В. И. Морозов, Э. К. Опбул // Вестник гражданских инженеров – Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2016г., № 5, с. 51-55.
2. Опбул Э.К. Нелинейно-итерационный расчет прочности сталефиброжелезобетонных элементов с использованием опытных диаграмм деформирования материалов / Э. К. Опбул, Д.А. Дмитриев, А.А. Ведерникова // Вестник гражданских инженеров – Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2017г., № 1 (60), с. 79-91.
3. СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва, 2004.
4. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01–2003 (с изменениями № 1, 2). М.: Минстрой России, 2013.
5. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения (к СП 52-101-2003). – М.: ОАО ЦРИИПромзданий, 2005. – 166 с.
6. Александров А. В. Сопротивление материалов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин // Высшая школа 1995, 705 с.
7. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов., МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999, 512 с.
8. Байков В. Н. Железобетонные конструкции / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов // Общий курс. Учебник дл вузов. 4-е изд.,, перераб. – М.: Стройиздат, 1985. – 728 с.
9. Бондаренко В. М. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций / В. М. Бондаренко, В. И. Римшин // Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 2006. – 504 с.
10. Кувалдин А. Н. Примеры расчета железобетонных конструкций зданий / А. Н. Кувалдин, Г. С. Клевцова // Учебник. Расчеты элементов конструкций гражданских и промышленных зданий. Изд. 2-е перераб. и доп. М., Стройиздат, 1976, 288 с.
11. Мандриков А.П. Примеры расчета железобетонных конструкций: Учеб. пособие для строит. техникумов по спе. «Пром. и гражд. стр-во». – М.: Стройиздат, 1979. – 419 с.

References

1. Morozov V.I. Raschet izgibaemyh stalefibrozhelezobetonnyh jelementov po nelinejnoj deformacionnoj modeli s ispol'zovaniem opytnyh diagramm deformirovanija stalefibrobetona [Calculation of bending steel-fiber-reinforced concrete elements according to a nonlinear deformation model using experimental strain diagrams of steel-fiber concrete]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of Civil Engineers]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Architecture and Construction University Publ., 2016, no. 5, pp. 51-55. (In Russian)
2. Opbul E. K. Nelinejno-iteracionnyj raschet prochnosti stalefibrozhelezobetonnyh jelementov s ispol'zovaniem opytnyh diagramm deformirovanija materialov

[Non-linear iterative calculation of the strength of steel-fiber-reinforced concrete elements using experimental diagrams of deformation of materials]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of Civil Engineers]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Architecture and Construction University Publ., 2017, no. 1 (60), pp. 79-91. (In Russian)

3. SNiP 52-01-2003 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozhenija [Building Regulations 52-01-2003 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions]. Moscow, 2004. (In Russian)
4. SP 63.13330.2012. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozhenija. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 52-01–2003 (s izmenenijami № 1, 2) [Building Regulations 52-01-2003 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition of Building Regulations 52-01–2003 (with changes no.1, 2)]. Moscow, Ministry of Construction, 2013. (In Russian)
5. Posobie po proektirovaniju betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij iz tjazhelogo betona bez predvaritel'nogo naprjazhenija (k SP 52-101-2003) [Manual for the design of concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete without prestressing]. Moscow, 2005, 166 p. (In Russian)
6. Aleksandrov A. V. Soprotivlenie materialov [Strength of materials]. Vysshaja shkola Publ., 1995, 705 p. (In Russian)
7. Feodos'ev V.I. Soprotivlenie materialov [Strength of materials]. Moscow State University named after N.E. Bauman, 1999, 512 p. (In Russian)
8. Baikov V. N. Zhelezobetonnye konstrukcii [Reinforced concrete structures]. Obshhij kurs. Uchebnik dl vuzov. 4-e izd. [General Course. Student`s book for universities. 4Th edition]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985, 728 p. (In Russian)
9. Bondarenko V. M. Primery rascheta zhelezobetonnyh i kamennyh konstrukcij Uchebnoe posobie [Examples of calculation of reinforced concrete and stone structures]. Moscow, Vyssh. Shk. Publ., 2006, 504 p. (In Russian)
10. Kuvaldin A. N. Primery rascheta zhelezobetonnyh konstrukcij zdanij. Uchebnik. Raschety jelementov konstrukcij grazhdanskih i promyshlennyh zdanij. Izd. 2-e pererab. i dop. [Examples of calculation of reinforced concrete structures of buildings. Textbook. Calculations of structural elements of civil and industrial buildings. 2nd edition]. Moscow, Stroyizdat, 1976, 288 p. (In Russian)
11. Mandrikov A.P. Primery rascheta zhelezobetonnyh konstrukcij: Ucheb. posobie dlja stroit. tehnikumov po spe. «Prom. i grazhd. Str-vo» [Examples of the calculation of reinforced concrete structures: Textbook for technical schools for sp. "Industrial and Civil construction”]. Moscow, Stroyizdat, 1979, 419 p. (In Russian)

Опбул Эрес Кечил-оолович, кандидат технических наук, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, E-mail: fduecnufce@mail.ru

Ондар Эймир Эрес-оолович, старший преподаватель, Тувинский государственный университет, г. Кызыл, E-mail: ondar.emir@mail.ru

Калдар-оол Анай-Хаак Бугалдаевна, старший преподаватель, Тувинский государственный университет, г. Кызыл, E-mail: oorzhaka-h@mail.ru

Eres K. Opbul, Candidate of Technical Sciences, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, fduecnufce@mail.ru

Eimir E. Ondar, Senior Lecturer, Tuvan State University, Kyzyl, E-mail: ondar.emir@mail.ru

Anay-Khaak B. Kaldar-ool, Senior Lecturer, Tuvan State University, Kyzyl, E-mail: oorzhaka-h@mail.ru

Дата поступления статьи в редакцию 19.12.2019

УДК 656(571.52)
doi 10.24411/2077-6896-2020-10024

ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В КЛИМАТИЧЕСКИХ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

Евтюков С.А., Чооду О.А., Сандан Н.Т.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург,
Тувинский государственный университет, г. Кызыл

OPERATION OF LAND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES IN CLIMATE AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TUVA

S.A. Evtyukov, O.A., Choodu, N.T. Sandan
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg,
Tuvan State University, Kyzyl

Основные особенности климата Республики Тыва обусловлены взаимодействием общих климатообразующих факторов: солнечной радиации, циркуляции воздушных масс и характера подстилающей поверхности (рельеф, растительность, реки, озера, снежный покров). Их значение, географическое положение Тувы в центре Азиатского материка, удаленность от морей и океанов, наличие горных хребтов на путях движения влажных воздушных масс, влияние Азиатского и Сибирского антициклонов определили резкую континентальность климата. Почти по всей территории Республики Тыва температуры ниже –10°С наблюдаются в течение нескольких месяцев в году. Поэтому работа строительных машин в зимних условиях, при низких температурах (ниже –20-45° С) встречается весьма часто.
Ключевые слова: Республика Тыва; климат; температура; эксплуатация; запуск двигателя

The main features of the climate of the Republic of Tuva are caused by the interaction of common climate-forming factors: solar radiation, air mass circulation and the nature of the underlying surface (terrain, vegetation, rivers, lakes, snow cover). Such significant factors as the geographical position of Tuva in the center of the Asian continent, the distance from the seas and oceans, the presence of mountain ranges on the routes of movement of wet air masses, the influence of the Asian and Siberian anticyclones, determined the sharp continental climate. Almost all over the territory of the Republic of Tuva, temperatures 20° C below zero are observed for several months of the year. Therefore, the work of construction machines in winter conditions at low temperatures (20-45° C below zero) is very common.
Keywords: Republic of Tuva; climate; temperature; operation; start of the engine

Местные условия – климатические, метеорологические, географические значительно сказываются на эксплуатации машин. Это объясняется прежде всего тем, что в различных условиях свойства эксплуатационных материалов, материалов, перерабатываемых машиной (например, грунта), и даже материалов, из которых изготовлена машина, могут значительно меняться.

Все это вынуждает применять специальные меры, обеспечивающие надежную и эффективную работу машин в изменяющихся условиях.

Зимним считается период эксплуатации, когда температура наружного воздуха устанавливается ниже –3,3-10°С.

Около половины территории Республики Тыва занимают районы с преобладанием отрицательных температур. Температура воздуха районов республики показаны на таблице 1.

Таблица 1. Температура воздуха в °С

№ п/п	Название	Абсолютная высота (м)	Средняя температура				среднегодовая	Абсолютный минимум	Абсолютный максимум	Амплитуда температур
			I	II	VII	VIII				
I	г. Кызыл	628	–33,7	–30,5	19,6	17	–4,5	–58	48	106
II	Каа-Хемский район	706	–34	–30,7	17,6	15,2	–5,6	–60	39	99
III	Дзун-Хемчикский район	723	–31	–26	18,3	15,7	–3,5	–54	37	91
IV	Пий-Хемский район	862	–34,9	–29,4	16,9	14,2	–5,9	–58	36	94
VI	Бай-Тайгинский район	880	–29,2	–24,1	17,3	15,3	–3,3	–54	36	90
VII	Тоджинский район	895	–28,6	–25,9	14,6	11,8	–5,5	–59	34	93
VIII	Чеди-Хольский район	1030	–29,2	–25,5	14,5	12,1	–5,3	–55	35	90
IX	Эрзинский район	1101	–34,9	–31,2	17,8	16	–5,5	–59	39	98
X	Тере-Хольский район	1310	–29,4	–25,1	14	11,4	–6,1	–56	34	95

В этих районах ведутся большие дорожные работы, на которых занято, примерно, 35% всех имеющихся в республике строительных и дорожных машин.

Почти по всей территории республики температуры ниже +5°С наблюдаются в течение нескольких месяцев в году. Поэтому работа строительных машин в зимних условиях, при низких температурах (ниже –10-15°С) встречается весьма часто.

Низкие температуры являются причиной появления следующих основных особенностей в эксплуатации машин:

- повышение скорости изнашивания деталей машин и уменьшение их надежности;
- затруднение запуска двигателя и машины в целом;
- повышение расхода эксплуатационных материалов;
- ухудшение работы системы охлаждения и электрооборудования двигателей;
- ухудшение условий управления машинами и их перемещения;
- усложнение разработки грунтов и переработки строительных материалов.

При низких температурах надежность машин резко снижается, интенсивность изнашивания возрастаете 3-5, а иногда и в 10 раз, простои машин из-за неисправно-

стей увеличиваются в 2-3 раза. Необходимо отметить, что при низких температурах отказывают, в основном, те же узлы, что и в нормальных условиях, только интенсивность отказов оказывается на 25-30% большей.

Причинами уменьшения надежности машин при низких температурах являются для двигателей: трудность их запуска, недостатки в работе систем смазки и охлаждения, а для других агрегатов – изменение свойств стали, резины и других конструкционных материалов.

При определенных отрицательных температурах структура стали переходит в хрупкое состояние. Это состояние определяется величиной ударной вязкости: для конструкционных сталей в прокате и поковках 4 кгс м/см2, для литых сталей – 2 кгс м./см2. Чем ниже температура появления указанных величин ударной вязкости, тем лучше холодостойкость стали. По организационно-технологическим требованиям для строительных машин, и в частности землеройных, возникает необходимость работы при температурах –40-50°С, следовательно эта температура и должна характеризовать уровень холодостойкости.

Многие стали, из которых изготовляются детали строительных машин, не отвечают требованиям холодостойкости. Так, например, широко распространенная кипящая сталь марки Ст. 3 кп хладноломка уже при температуре –20°С.

Особенно опасны при низких температурах концентраторы напряжений (резкие изменения диаметров деталей, отверстия с острыми краями и т.п.).

Сварка металла должна производиться в этих условиях особенно тщательно, кромки свариваемых деталей целесообразно предварительно разогревать посторонними источниками тепла. Необходимо избегать дефектов сварного шва, которые могут быть концентраторами напряжений.

Во избежание поломок вследствие хладноломкости, практикуется подогрев деталей, например, рукоятей и стрел экскаваторов. Для этого применяется нагрев наиболее нагруженных частей с помощью электронагревательных элементов.

При низких температурах становятся хрупкими сталь и чугун, из которых изготовлены пружины, картеры, головки блоков цилиндров и др. Оловянисто-свинцовые припои, как и свинцовистые заливки подшипников двигателей, разрушаются при температуре –45°С. В результате этого могут произойти отказы подшипников.

Сильно изменяются с температурой и свойства резины, которая теряет эластичность и легко ломается. Малая упругость резины пневмошин приводит к уменьшению коэффициента сцепления с дорогой, который возрастает лишь при разогреве резины от движения колеса.

Уменьшение эластичности резины вызывает рост усилий на рукоятках пневмосистем управления. Увеличение жесткости резиновых диафрагм пневматических камер приводит к значительному уменьшению усилий, развиваемых тормозной камерой

Почти у всех пластмасс при понижении температуры возрастает прочность на разрыв, статический изгиб и сжатие (10-30% и более), а также твердость. Однако при этом значительно снижаются ударная вязкость и

пластичность материалов, они становятся хрупкими и ломаются при незначительных усилиях.

Затрудненность запуска двигателя и машины в целом в зимних условиях является следствием целого ряда факторов. Среди них одним из важнейших является резкое увеличение вязкости картерных и трансмиссионных масел, которое приводит к росту сопротивления провертыванию коленчатого вала и снижению скорости его вращения при пуске. Вследствие повышения вязкости, количество масла, поступающего к узлам трения, сокращается, в результате чего, в частности, увеличиваются утечки рабочего тела из камеры сгорания. Они возрастают, кроме того, и из-за снижения скорости перемещения поршней.

Утечка рабочей смеси в дизелях приводит к уменьшению степени сжатия, что в свою очередь вызывает снижение температуры в камере сгорания. При малой скорости движения поршней происходит интенсивное поглощение тепла холодными стенками цилиндров, что еще более понижает температуру в конце такта сжатия. Если она станет ниже 350-400°С, смесь может не воспламениться. На рис. 1 показаны зависимости температуры в камере сгорания дизеля от степени сжатия и скорости вращения коленчатого вала.

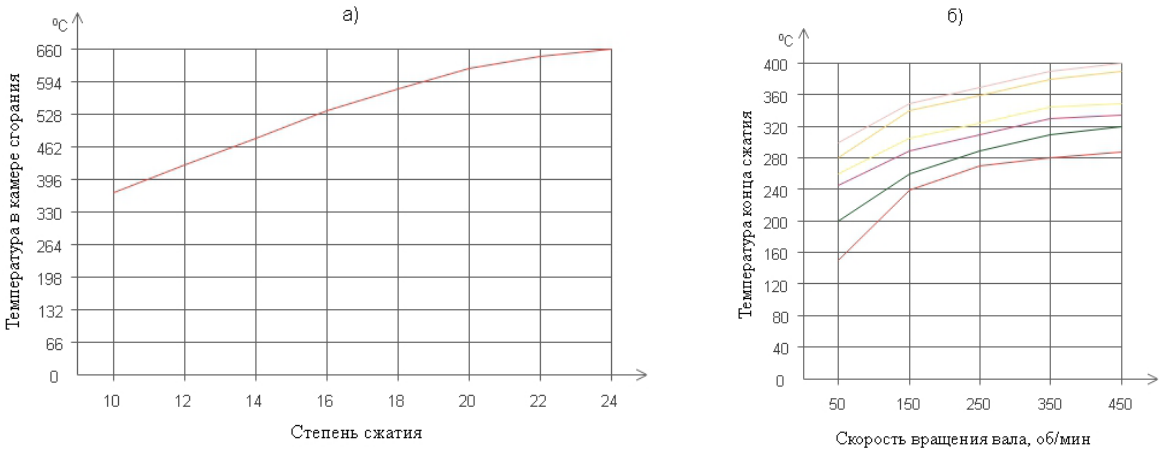

Рис.1. Зависимость температуры в камере сгорания дизельного двигателя от степени сжатия и скорости вращения вала:
а) – изменение температуры в камере сгорания, в зависимости от степени сжатия;
б) – изменение температуры конца сжатия, в зависимости от скорости вращения коленчатого вала

Уменьшение температуры в камере сгорания дизеля приводит к резкому увеличению времени сгорания, что значительно ухудшает рабочий процесс двигателя. Возрастают тепловые потери при сжатии и расширении, особенно при первых оборотах вала.

Вследствие ухудшения рабочего процесса сильно возрастает количество топлива, обеспечивающее воспламенение в момент пуска. Иногда подача топлива насосом может оказаться недостаточной. Изменение пропорции смеси дизельного топлива с воздухом вызывает повышение температуры самовоспламенения, что весьма затрудняет запуск.

В карбюраторных двигателях, из-за увеличения плотности и вязкости топлива, замедляется его истечение из жиклеров и уровень в поплавковой камере понижается. Часть распыленного топлива осаждается в виде пленки на внутренней поверхности всасывающего трубопровода. Возрастает коэффициент избытка воздуха и обедняется рабочая смесь. Иногда, особенно в случае применения хорошо испаряющихся топлив, имеющих высокие пусковые свойства, происходит обледенение карбюратора, вследствие охлаждения его потоком холодного воздуха.

Отрицательное влияние на запуск двигателей оказывает ненормальная работа электрооборудования. В частности, повышение вязкости электролита приводит к уменьшению емкости аккумуляторной батареи (до 1,5% на Г) и понижению напряжения на ее зажимах. При этом ухудшаются параметры искрового разряда, снижается мощность стартера и уменьшается скорость вращения коленчатого вала. В результате этого контакты прерывателя размыкаются медленно, что еще больше ухудшает параметры искрового разряда.

Мощность двигателей без наддува увеличивается при понижении температуры окружающего воздуха на 10°С приблизительно на 1-1,2%, при одновременном увеличении расхода топлива на 1,1-1,4%. При понижении температуры охлаждающей жидкости в рубашках блоков цилиндров до +50°С мощность двигателей снижается, а расход топлива увеличивается, примерно, на 10%.

В зимнее время сильно осложняется эксплуатация систем охлаждения двигателей. Температура в них должна поддерживаться в сравнительно узких пределах. Она не должна быть выше величин, при которых происходит чрезмерное разжижение смазки, и ниже значений, обеспечивающих хорошую испаряемость топлива, отсутствие конденсации водяных паров.

Температура металла двигателя сказывается на его объемном КПД, который ухудшается, примерно, на 1% на каждые 7°С увеличения температуры. Температура охлаждающей жидкости должна быть 90-105°С, а металла двигателя – 40-55°С, тогда между движущимися деталями будут оптимальные зазоры.

Большое влияние на работу системы охлаждения оказывает охлаждающая жидкость. Наиболее высокими качествами обладает вода, которая имеет высокий коэффициент теплопередачи, большую теплоемкость и теплопроводность, малый коэффициент объемного расширения. Недостатками воды являются сравнительно низкая температура ее замерзания и образование накипи.

Накипь в 50-100 раз менее теплопроводна, чем металл, ее присутствие ухудшает отвод тепла от двигателя, понижает КПД двигателей и может даже вызвать детонацию бензина в карбюраторных двигателях. Слой накипи толщиной 1,15 мм снижает мощность двигателя на 6% и увеличивает удельный расход топлива на 2%.

Одним из основных современных способов борьбы с накипью является применение антинакипинов, например, гексаметафосфата натрия ($NaPO_3$), снижающего образование накипи и коррозии на 40-45%. На 1 литр охлаждающей воды его требует-

ся 5-6 мг.

Изменение общей растворимости солей в намагниченной воде при одновременном выпадении гидроокисей металлов приводит к множественному образованию центров кристаллизации по всему объему воды. При этом будет образовываться шлам в виде аморфного скопления мелких кристалликов различных солей и гидроокисей металлов. Щелочная вода будет химически разрушать старую накипь, ее компоненты будут не растворяться в воде, а в виде шлама и кусочков отваливаться от стенок. Последнее может вызвать засорение системы охлаждения, что является одним из основных недостатков рассматриваемого способа.

Установки для магнитной обработки воды в принципе представляют собой системы электромагнитов, перпендикулярно силовым линиям которых протекает вода. Они дают довольно большой экономический эффект.

Магнитная обработка воды для котельных установок, предложенная в 1945 г. бельгийским инженером Веймайреном, в настоящее время получила довольно широкое распространение в различных котельных установках и в виде опыта применяется для систем охлаждения двигателей внутреннего сгорания.

Вместо воды в системах охлаждения могут использоваться низкозамерзающие жидкости. Однако некоторые из них вызывают коррозию, они довольно дороги, ядовиты. Наиболее хорошими являются этиленгликолевые антифризы; спиртоглицериновые не удобны тем, что при температурах ниже – 20-30°С они замерзают.

В практике вместо антифриза часто находит применение дешевое и доступное зимнее дизельное топливо. Оно замерзает при температуре – 35-45°С, при замерзании его объем не увеличивается, вязкостные свойства дизельного топлива близки к свойствам этиленгликолевого антифриза, а малая теплоемкость обеспечивает легкое поддержание оптимального теплового режима. Основным недостатком дизельного топлива, как охлаждающей жидкости, является вредное действие его на резиновые детали. Расчеты показывают, что даже с учетом этого, применение дизельного топлива экономически выгодно.

Для уменьшения вредного действия дизельного топлива на резиновые изделия целесообразно его предварительно обработать с целью уменьшения окислительной способности. Технология этой обработки несложна и приводится в ряде литературных источников.

Большое влияние на мощность, экономичность и износ деталей двигателя оказывает его тепловой режим и, в частности, температура жидкости в системе охлаждения. Особенно вредно сказывается ее понижение на работу дизелей. При температуре жидкости около 40°С дизель по расходу топлива сравнивается с карбюраторным двигателем, топливо сгорает не полностью, детали осмаливаются, их износ возрастает в 4 раза.

Оптимальная температура жидкости в системе охлаждения дизелей равна 80-95°С. Наблюдения показали, что фактически в сельском хозяйстве и строительстве тракторы 33-46% рабочего времени зимой работают с температурой воды в системах

охлаждения от +30 до +50°С, а около 20% с температурой +30°С и ниже.

Для получения оптимального теплового режима системы охлаждения применяются термостаты, регулируемые вентиляторы и жалюзи, съемные тепловые чехлы.

Термостат оказывает большое влияние на скорость прогрева двигателя при пуске, существенно повышая ее (для прогрева от + 10° до +60°С с термостатом требуется 6 мин, без него 30 мин). Поэтому снятие термостатов зимой нерационально, хотя они и могут вызвать замерзание воды в радиаторе, так как при температурах воды ниже +70°С клапаны термостатов закрываются и вода циркулирует, минуя радиаторы.

При установившейся работе двигателя на его температурный режим большое влияние оказывает вентилятор. При низких температурах и малых нагрузках почти все тепло от радиатора отводится потоком холодного воздуха, обдувающим радиатор, и именно это и может вызвать его размораживание.

Необходимо регулирование потока воздуха, перемещаемого вентилятором, лучше всего автоматическое. Иногда применяется простое отключение вентилятора.

В настоящее время имеется несколько путей регулирования потока воздуха:

- уменьшение числа оборотов вентилятора за счет уменьшения натяжения его приводного ремня;
- ступенчатое или бесступенчатое изменение числа оборотов вентилятора;
- изменение положения лопастей вентилятора.

Регулирование количества воздуха, проходящего через радиатор, можно осуществлять и с помощью регулируемых жалюзи. Температурный режим сильно зависит от установки утеплительного чехла.

Наличие накипи в системе охлаждения вредно сказывается на ее работе, поэтому накипь должна удаляться промывкой системы щелочными или кислотными растворами. Целесообразно утепление нижнего патрубка и шланга радиатора теплоизолирующими материалами, а также устройство раструба вокруг вентилятора, препятствующего засасыванию холодного воздуха в подкапотное пространство двигателя.

Низкие температуры оказывают существенное влияние на работоспособность аккумуляторных батарей, от которой зависит нормальная работа двигателя, а особенно его запуск.

Напряжение U на клеммах батареи равно

$$U=E-RIB, \quad (1)$$

где E – ЭДС батареи, В;

F – внутреннее сопротивление батареи, Ом;

I – ток, отдаваемый батареей, А.

При изменении температуры от +20 до 70°С ЭДС падает лишь с 2,12 до 2,08 В на элемент, значит величина напряжения U меняется, главным образом, вследствие изменения RL.

Внутреннее сопротивление батареи зависит от ряда факторов, из которых наиболее значительно изменяется с температурой плотность электролита. Так, удельное сопротивление электролита с плотностью 1,3 г/см3 с изменением температуры от +40 до –18°С увеличивается в 2,5 раза.

Падение напряжения вызывает умень-

шение емкости батареи. Если при температуре +25°С емкость батареи равна 100%, то при –20°С она составляет лишь 60%.

При разряде аккумуляторных батарей электролит в них может замерзнуть. Чем полнее заряжена батарея, тем ниже температура ее замерзания при разрядке. Повышение плотности электролита при зарядке на 4% понижает эту температуру почти вдвое, поэтому для надежной работы аккумуляторов зимой следует повышать плотность электролита. При плотности электролита 1,31 температура его замерзания равна –66°С; 1,27 –58°С; 1,23 –40°С и т.д. Излишне высокая плотность электролита значительно сокращает срок службы батареи.

Большое значение для эксплуатации машин, особенно для запуска двигателей, имеет величина емкости аккумуляторов.

Утепление или подогрев аккумуляторов необходимы и для улучшения их вольтамперных характеристик, изменения которых прямо пропорциональны температуре электролита. Графики вольтамперных характеристик показывают, например, что при –40°С получить разрядный ток 400 А вообще нельзя, а при токе 300 А разрядка аккумулятора произойдет за очень короткий срок.

Утепление аккумуляторов осуществляется чехлами или теплоизолирующими ящиками, а подогрев электрическими подогревателями, каталитическими печами, теплым воздухом от двигателя или другими способами. Для предотвращения замерзания электролита батареи должны быть все время полностью заряженными.

Одним из возможных дефектов пусковой электрической системы зимой может быть сваривание контактов реле, которое происходит из-за большой величины разрядного тока батареи при пуске холодного двигателя. Контакты свариваются возникающей при этом электрической дугой.

При низких температурах сильно затрудняется и управление машинами. Причинами этого являются как изменения параметров систем управления, так и вредное влияние низких температур на людей. Кроме того, условия использования машин зимой обычно значительно сложнее, чем летом.

Сильно уменьшается надежность гидросистем, на которые приходится около 70% отказов машин в зимнее время. Во многом это определяется увеличением вязкости рабочих жидкостей гидросистем, вызывающим рост потерь на трение и усилий, необходимых для управления. Повышение вязкости рабочей жидкости затрудняет работу клапанов, золотников, приводит к рывкам и запаздываниям в системе. В результате этого сильно снижается производительность машин (рис. 2).

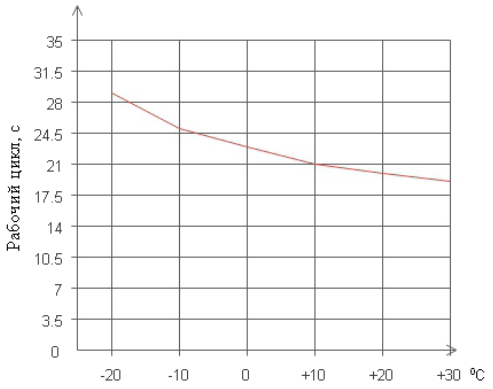

Рис. 2. Изменение длительности рабочего цикла экскаваторов, в зависимости от температуры рабочей жидкости в гидравлической системе управления

Уплотнения системы управления могут трескаться, возможно обледенение фильтров, примерзание шариков клапанов. Для устранения всех этих неприятных явлений рекомендуется использовать маловязкие масла, тщательно отрегулировать гидросистему, перед пуском подогревать ее баки и аккумуляторы, а также утеплить их и некоторые клапаны и трубопроводы.

Основной причиной многих неисправностей пневматических систем управления является конденсация, а в дальнейшем и замерзание в них влаги. Поэтому нужно ежедневно спускать конденсат, прогревать замерзшие места горячим воздухом или водой.

Управление машинами зимой затрудняется из-за ухудшения видимости водителем дороги или места работы при обмерзании стекол, а также вследствие низкой температуры в кабине управления. Для устранения обмерзания стекол делается двойное остекление кабин или подогрев стекол, например, электроподогрев токопроводящих стекол.

Кабины должны иметь надежные и безопасные отопители, работающие на том же топливе, что и двигатель. Использование для отопления кабины воздуха из подкапотного пространства двигателя не допускается, вследствие возможности отравления водите¬лей отработавшими газами.

Технология строительных работ, выполняемых при низких температурах, значительно усложняется сравнительно с летним периодом. Подробно этот вопрос изучается в специальных дисциплинах. Здесь следует отметить только то, что иногда для работы в зимних условиях требуются специальные регулировки рабочих органов и другие технологические мероприятия, повышающие эффективность работы машин.

Большая сложность эксплуатации машин при низких температурах обусловливает необходимость проведения ряда мероприятий по подготовке техники к эксплуатации зимой, включаемых в сезонное техническое обслуживание.

К основным из этих мероприятий относятся:

- промывка системы охлаждения двигателей (для удаления из нее накипи и осадков), топливных баков, фильтров и трубопроводов системы питания;
- замена смазки с промывкой картеров и маслопроводов;
- промывка и очистка воздухоочистителей и заправка их маслом;
- проверка аккумуляторов с доведением плотности электролита до соответствующей сезону;
- проверка состояния авторезины;
- проверка и регулировка тормозных систем и систем управления со сменой рабочих жидкостей в гидравлических системах на зимние сорта;
- освежение окраски (при необходимости);
- замена воды в системах охлаждения низкозамерзающей жидкостью;
- замена топлива на зимние сорта;
- утепление кабины, кузова, аккумуляторов, паропроводных и водопроводных труб;
- выполнение всех работ в объеме очередного технического обслуживания.

Кроме того, весь личный состав, эксплуатирующий машины, должен быть обучен

управлению машинами и их обслуживанию в зимних условиях.

Библиографический список

1. Евтюков С.А. Строительные машины. Учебное пособие. / С.А. Евтюков, С.А. Рысс-Березарк, Я. Райчык.− СПб.:СПбГАУ.,2000.−167 с.
2. Евтюков С.А., Сандан Н.Т. Особенности эксплуатации парков машин в условиях низких температур / С.А. Евтюков, Н.Т. Сандан // Вестник гражданских инженеров. – 2016. - № 2 (55). – С. 186-191.
3. Евтюков С.А., Шиманова А.А. Управление жизненным циклом машины с целью повышения эффективности использования парка машин для зимнего содержания дорог / Вестник гражданских инженеров. № 4. 2017. – С. 205-212.
4. Сандан Н.Т. Влияние износа на изменение эксплуатационных свойств наземных транспортно-технологических машин в процессе эксплуатации / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, С.В. Репин // Вестник гражданских инженеров, Выпуск 1(66). Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАСУ, 2018. – 150-153 с.
5. Сандан Н.Т. Влияние на изменение работоспособности гидроцилиндров рабочего оборудования экскаваторов в условиях эксплуатации / Н.Т. Сандан // Вестник Тувинского государственного университета, Выпуск 3(34). Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2017. – 58-64 с.
6. Сандан Н.Т. Влияние низких температур на эксплуатацию машин и механизмов в Республике Тыва / Н.Т. Сандан // Вестник гражданских инженеров, Выпуск 3(68). Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАСУ, 2018. – 161-165 с.
7. Сандан Н.Т. Проблемы зимнего пуска двигателя в условиях низких температур в Республике Тыва. / Н.Т. Сандан // Вестник Тувинского государственного университета, Выпуск 3(30). – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2016. – С. 139-150.
8. Чооду О. А. Разработка методики оценки влияния климатических условий на эксплуатацию дорожно-строительных машин (на примере территории Республики Тыва): Автореферат. … канд. техн. наук. СПб.: СПбГАСУ, 2009. 20 с.
9. Чооду О. А. Эксплуатация горных транспортно-технологических машин на месторождениях полезных ископаемых на территории РТ // Вестник ТувГУ 2014. № 3(22). С. 92–102.
10. Чооду О. А., Монгуш С. Ч., Евтюков С. А. Анализ условий технической эксплуатации строительно-дорожной и горной техники при открытой разработке Одегелдейского участка Актальского месторождения каменного угля // Вестник гражданских инженеров 2018. Вып. 1 (66). С. 154-163.

References

1. Evtyukov S.A. Stroitel'nye mashiny. Uchebnoe posobie [Construction vehicles. Tutorial]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Architecture University, 2000 , 167 p. (In Russian)
2. Evtyukov S.A., Sandan N.T. Osobennosti jekspluatacii parkov mashin v uslovijah

nizkih temperatur [Features of the operation of fleets at low temperatures]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of civil engineers]. 2016, no. 2 (55), pp. 186-191. (In Russian)

3. Evtyukov S.A., Shimanova A.A. Osobennosti jekspluatacii parkov mashin v uslovijah nizkih temperatur [Managing the life cycle of a car to increase the efficiency of using a fleet of vehicles for winter road maintenance]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of civil engineers]. No. 4, 2017, pp. 205-212. (In Russian)
4. Sandan N.T. Vlijanie iznosa na izmenenie jekspluatacionnyh svojstv nazemnyh transportno-tehnologicheskih mashin v processe jekspluatacii [The effect of wear on the change in the operational properties of ground transport and technological machines during operation]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of Civil Engineers]. Issue 1 (66). Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Architecture and Construction Publ., 2018, 150-153 p. (In Russian)
5. Sandan N.T. Vlijanie na izmenenie rabotosposobnosti gidrocilindrov rabochego oborudovanija jekskavatorov v uslovijah jekspluatacii [Influence on changing the working capacity of hydraulic cylinders of working equipment of excavators in operating conditions]. Vestnik of Tuvan State University, issue 3 (34). Kyzyl, TuvSU Publ., 2017, pp. 58-64. (In Russian)
6. Sandan N.T. Vlijanie nizkih temperatur na jekspluataciju mashin i mehanizmov v Respublike Tyva [The effect of low temperatures on the operation of machines and mechanisms in the Republic of Tuva]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of Civil Engineers]. Issue 3 (68). Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Architecture and Construction Publ., 2018, pp. 161-165. (In Russian)
7. Sandan N.T. Problemy zimnego puska dvigatelja v uslovijah nizkih temperatur v Respublike Tyva [Problems of winter engine starting at low temperatures in the Republic of Tuva]. Vestnik of Tuvan State University, issue 3 (30). Kyzyl, TuvSU Publ., 2016, pp. 139-150. (In Russian)
8. Choodu O. A. Razrabotka metodiki ocenki vlijanija klimaticheskih uslovij na jekspluataciju dorozhno-stroitel'nyh mashin (na primere territorii Respubliki Tyva): Avtoreferat. … kand. tehn. nauk. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Architecture and Construction Publ., 2009., 20 p. (In Russian)
9. Choodu O. A. Jekspluatacija gornyh transportno-tehnologicheskih mashin na mestorozhdenijah poleznyh iskopaemyh na territorii RT. Vestnik of Tuvan State University, 2014, no. 3(22), pp. 92–102. (In Russian)
10. Choodu O. A., Mongush S. Ch., Evtjukov S. A. Analiz uslovij tehnicheskoj jekspluatacii stroitel'no-dorozhnoj i gornoj tehniki pri otkrytoj razrabotke Odegeldejskogo uchastka Aktal'skogo mestorozhdenija kamennogo uglja. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of Civil engineers]. 2018, iss. 1 (66), pp. 154-163. (In Russian)

Евтюков Сергей Аркадьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Наземных транспортно-технологических машин», ФГБОУ ВО Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, e-mail: s.a.evt@mail.ru

Чооду Остап Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-технологические средства», ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», Кызыл, e-mail: ostap1981@mail.ru

Сандан Нелли Тимуровна – ассистент кафедры «Транспортно-технологические средства» ФГБОУ ВО Тувинского государственного университета, e-mail: sandan.nelli@yandex.ru

Sergey A. Evtyukov – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Transport and Technological Machines, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, e-mail: s.a.evt@mail.ru

Ostap A. Choodu - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Transport and Technological Means, Tuvan State University, Kyzyl, e-mail: ostap1981@mail.ru

Nelli T. Sandan – Assistant at the Department of Transport and Technological Means, Tuvan State University, e-mail: sandan.nelli@yandex.ru

Дата поступления статьи в редакцию 12.02.2020

УДК 625.08
doi 10.24411/2077-6896-2020-10025

ПУТИ СОЗДАНИЯ НОВОЙ МОНИТОРИНГОВОЙ СИСТЕМЫ РЕМОНТА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ И ГОРНЫХ МАШИН

Чооду О.А., Монгуш Э.С.
Тувинский государственный университет, г. Кызыл

WAYS TO CREATE A NEW MONITORING SYSTEM FOR REPAIRING OF ROAD CONSTRUCTING AND MINING MACHINES

O.A. Choodu, E.S. Mongush
Tuva State University, Kyzyl

В статье рассмотрены возможные пути создания новой системы ремонта строительно-дорожных машин. Анализ современного состояния применяемых методологий ремонта техники показывает недостаточную эффективность существующих методологий. Основной проблемой является недочет возможностей современных технологий и адресное использование возможностей современных технологий. Предложены возможные пути внедрения современных технологий с разных позиций развития технологий. В статье также рассмотрены возможные решения модернизации планово-предупредительной системы ремонта транспортно-технологических и горных машин. Предлагаемая система ремонта «Мониторинговая система» является более современной и эффективной системой, которая собрала в себе все инновационные направления в ремонте транспортно-технологических и горных машин. Основной положительной чертой новой системы является прогнозирование технического состояния в онлайн – через программные пакеты и встроенные операционные системы. Также возможно установить офлайн и онлайн режимы контроля.
Ключевые слова: система ремонта; техническое обслуживание; строительно-дорожные машины; Республика Тыва; транспортные предприятия; планово-предупредительный ремонт; датчики; мониторинг

The article considers possible ways to create a new system for repairing of road constructing machines. The analysis of the current state of applied methodologies for repairing equipment shows the insufficient effectiveness of existing methodologies. The main problem is the lack of capabilities of modern technologies and targeted use of the capabilities of modern technologies. Possible ways of implementing modern technologies from different perspectives of technology development are suggested. The article also discusses possible solutions to modernize the planned preventive system for repairing transport-technological and mining machines. The proposed repair system "Monitoring system" is a more modern and effective system that combines all the innovative directions in the repair of transport and technological and mining machines. The main positive feature of the new system is the prediction of technical condition in online-through

software packages and embedded operating systems. It is also possible to set offline and online control modes.

Keywords: repair system; maintenance; road-building machines; Republic of Tuva; transport enterprises; preventive maintenance repairs; sensors; monitoring

На сегодняшний день жесткая система ППР устарела и имеет ряд недостатков, явно выражающихся в современных условиях функционирования горного предприятия: недооценка фактических условий работы и состояния оборудования, неритмичность работы оборудования, устаревшие нормативы, значительные отклонения фактических данных работы оборудования от плановых, проведение излишних ремонтов, т.е. ремонтов исправного оборудования, и, как следствие, излишний рост эксплуатационных затрат [3, 4, 9].

Проведение технического обслуживания основывается на применении трех базовых схем: обслуживание по факту отказа, профилактическое обслуживание и обслуживание по состоянию [5, 9].

Профилактическое обслуживание (Preventive Maintenance – PM) есть не что иное, как система ППР. Техническое обслуживание и ремонт по факту отказа, т.е. после наступления сбоя (Run to Breakdown – RtB), также известны как реактивное техническое обслуживание (RtB). Подход обычно применяется для объектов, отказ которых не вызывает существенных последствий, а проведение работ по восстановлению несложное. Система RtB является наиболее простой системой обслуживания, но вместе с тем наиболее дорогостоящей. При данной системе ТО не проводится какое-либо мероприятие по поддержанию технического состояния в течение запланированного периода эксплуатации, в том числе не контролируются технические и технологические параметры оборудования. Ремонт или замена оборудования производится при выходе его из строя (аварийный отказ) или выработке ресурса. Как правило, стоимость ремонта по факту аварии многократно превышает планируемые расходы. В связи с тем, что экскаватор является сложной технической системой и может быть отнесен к изделиям конкретного назначения I (высокой) категории опасности, а также является одним из основных звеньев последовательной технологической цепочки горнодобывающего предприятия, система RtB не применяется для обслуживания карьерных экскаваторов.

Система обслуживания по фактическому состоянию (Condition Based Maintenance – CBM) является более прогрессивной системой ТО и уже внедряется на ряде отраслей промышленности. Суть технологии состоит в том, что обслуживание и ремонт производятся в зависимости от реального текущего технического состояния механизма, контролируемого в процессе эксплуатации без каких-либо разборок и ревизий, на базе контроля и анализа соответствующих параметров. Идея системы обслуживания по состоянию (CBM) состоит в минимизации отказов путем применения методов отслеживания и распознавания технического состояния. Последнее производится методами

неразрушающего контроля. При появлении каких-либо факторов, вызывающих отклонения от нормального состояния механизма, своевременное диагностирование позволяет обнаружить эти отклонения. При этом определяются реальные причины происходящих изменений в каждой конкретной ситуации, принимаются обоснованные решения по их устранению. Преимущества такой системы технического обслуживания очевидны: – предприятие имеет объективные данные о текущем техническом состоянии оборудования; – не нарушается нормальная работа механизма из-за необоснованного вмешательства; – технически достоверно определяются необходимые сроки и объемы ремонтных и наладочных работ, контролируется качество их выполнения. Недостатком системы обслуживания по состоянию СВМ является ситуация, когда необходимость проведения ремонтных работ на нескольких экскаваторах одновременно превышает возможности ремонтной службы, что ставит под удар всю систему обслуживания.

Система бережливого производства (Lean Production) – концепция менеджмента, основанная на неуклонном стремлении к устранению всех видов потерь. Широко известны такие системы бережливого производства, как 5S, TQM, JIT и TPM. Особое внимание стоит уделить системе всеобщего производительного обслуживания, известной в английском сокращении как TPM (Total Productivity Maintenance). Термин «всеобщее» относится не только к производительному и экономичному техническому обслуживанию, но и ко всей системе эффективного ухода за оборудованием в течение его срока службы, а также к включению в процесс каждого отдельного сотрудника и различных отделов через привлечение к техническому обслуживанию отдельных операторов. Более того, при применении TPM требуются определенные обязательства со стороны руководства предприятия.

TPM – концепция менеджмента производственного оборудования, нацеленная на повышение эффективности технического обслуживания. Метод всеобщего ухода за оборудованием построен на основе стабилизации и непрерывного улучшения процессов технического обслуживания, системы планово-предупредительного ремонта, работы по принципу «ноль дефектов» и систематического устранения всех источников потерь.

В системе всеобщего ухода за оборудованием речь идет не об исключительной проблеме содержания в исправности оборудования, а о широком понимании обслуживания средств производства как интеграции процессов эксплуатации и технического ухода, раннем участии ремонтного персонала в разработке графиков обслуживания оборудования и точном учете состояния оборудования для целенаправленного содержания его в исправности. TPM играет важную роль, в частности, в управлении производством в системе «точно вовремя», так как наличие обусловленных содержанием в исправности помех ведет к потерям времени, которые увеличиваются по всей цепочке создания добавленной стоимости.

Характерными чертами TPM являются: охват всего жизненного цикла оборудования, постоянное наблюдение и диагностические проверки оборудования для раннего обнаружения дефектов и предупреждения его отказа, а также совместная работа основ-

ного персонала, обслуживающего горную технику, и специалистов ремонтных служб, которые вместе обеспечивают безотказную работу оборудования. Центральное направление ТРМ – самостоятельное обслуживание оборудования операторами, ведь основной персонал постоянно находится рядом с оборудованием, поэтому именно они первыми определяют отклонения от правильной работы и играют значительную роль в его первичном обслуживании, диагностике и предупреждении неисправностей [6,9]. В результате удается повысить эффективность использования оборудования, существенно снизить затраты на его обслуживание и ремонт, уменьшить аварийность и травматизм на производстве.

Вместе с тем система технического обслуживания в концепции ТРМ включает в себя постоянное наблюдение и акустические проверки оборудования для раннего обнаружения дефектов и предупреждения его отказа. Подход ТРМ рассматривает техническое обслуживание как деятельность всего предприятия и в этом плане перекликается с подходами системы менеджмента качества. Основу метода ТРМ формируют пять целей (рис. 1) [7-9]:

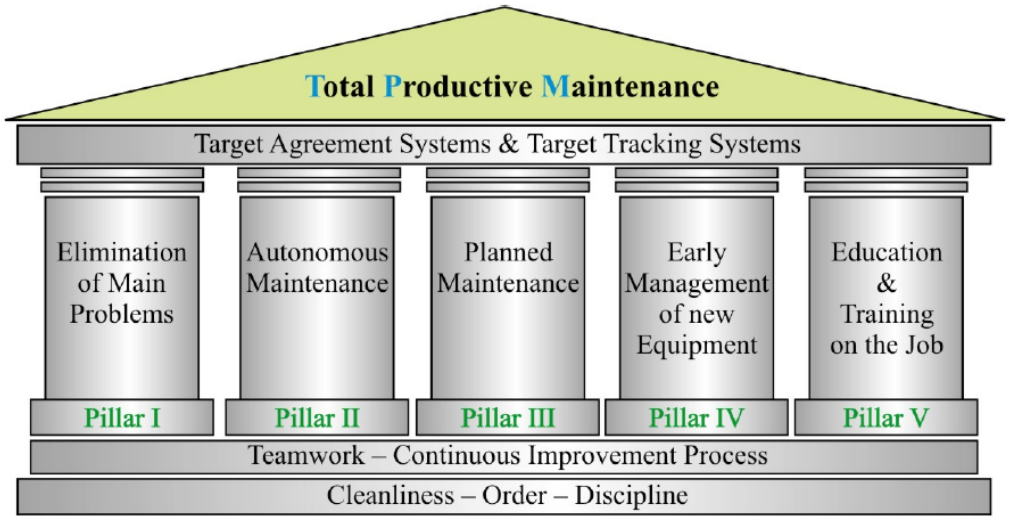

Рис. 1. Пять целей концепции ТРМ

1. Повышать эффективность работы оборудования путем изучения всех видов потерь от простоя. 2. Добиваться автономности обслуживания оборудования, возложив ответственность за управление на персонал, занимающийся его обслуживанием. 3. При формировании программы ТО использовать и рационально балансировать все виды обслуживания оборудования. 4. Развивать компетенции персонала. 5. Обеспечивать контроль оборудования на ранних стадиях за счет диагностических проверок обслуживания, анализа сбоев и ремонтопригодности оборудования на стадии его проектирования, производства, монтажа и ввода в эксплуатацию.

Достижение этих целей обеспечит устранение хронических потерь: – выход из строя оборудования; – высокое время переналадки и регулирования; – мелкие неисправности; – дефектные детали.

Восемь принципов ТРМ: 1. Непрерывное

улучшение, нацеленное на практику предотвращение семи видов потерь. 2. Автономное содержание в исправности: оператор оборудования должен самостоятельно производить осмотр, работы по чистке, смазочные работы, а также незначительные работы по технического обслуживанию. 3. Планирование технического обслуживания: обеспечение 100%-ной готовности оборудования, а также проведение мероприятий кайдзен в области технического обслуживания. 4. Тренировка и образование: сотрудники должны быть обучены в соответствии с требованиями по повышению квалификации для эксплуатации и технического ухода за оборудованием. 5. Контроль запуска: реализовать вертикальную кривую запуска новой продукции и оборудования. 6. Менеджмент качества: реализация цели «нулевые дефекты в качестве» в изделиях и оборудовании. 7. TPM в административных областях: потери и расточительство устраняются; в непрямых производственных подразделениях. 8. Безопасность труда, окружающая среда и здравоохранение: требование преобразования аварий на предприятии в нуль.

Автономное содержание в исправности – важнейший принцип TPM. Ее целью является минимизирование потерь эффективности, которые возникают из-за отказов устройств, коротких остановок, брака и т.д. Для этого все большая часть необходимой деятельности по техническому обслуживанию (чистка, смазка, технический осмотр устройств) упрощается, стандартизируется и постепенно передается на места в обязанности сотрудников.

Основной персонал постоянно находится рядом с оборудованием, поэтому именно эти сотрудники первыми определяют отклонения от правильной работы и играют значительную роль в его первичном обслуживании, диагностике и предупреждении неисправностей.

В результате удается повысить эффективность использования оборудования, существенно снизить затраты на его обслуживание и ремонт, уменьшить аварийность и травматизм на производстве. Целенаправленное постепенное и грамотное создание системы технического обслуживания по концепции TPM является действенным способом решения вышеописанных проблем в области технического обслуживания и ремонта оборудования. Практика применения вышеуказанных концепций технического обслуживания показывает, что универсальных оптимальных решений нет и общие концепции приходится адаптировать под конкретные условия. Отсюда возникает задача снизить потенциальное разнообразие вариантов проведения работ до рационально обоснованного варианта системы технического обслуживания, применимого к текущим условиям эксплуатации карьерных экскаваторов.

Наличие информационно-диагностической системы в составе электрооборудования экскаваторов позволяет повысить эффективность использования этих горных машин благодаря оперативному принятию решений по корректировке производственного процесса на основе быстрой и достоверной информации о показателях работы экскаватора за смену, месяц с привязкой по бригадам, а также обеспечить более долговечную и надежную работу оборудования и своевременно информировать оператора о

состоянии механического и электрического оборудования экскаватора.

Ведущие зарубежные экскаваторостроительные фирмы Marion, Bucyrus и Caterpillar активно внедрили информационно-диагностические системы на своих машинах, которые позволяют определить неисправности в системах управления электроприводами, состояние работы вспомогательных приводов, контроль системы смазки и т.д., эксплуатировать и обслуживать экскаваторы с меньшими затратами [8-9].

В настоящее время новые экскаваторы компании ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» оснащены информационно-диагностическими системами. Наличие информационно-диагностической системы современных экскаваторов обеспечивает выполнение следующих функций: – контроль температур нагрева подшипников моторных валов редукторов механизма подъема и напора, а также подшипников электромашин главных приводов; – контроль потоков охлаждающего воздуха электродвигателей главных приводов; – контроль наличия и температуры нагрева масла в циркуляционной системе механизма поворота; – контроль параметров работы системы управления главными приводами; – контроль давления сжатого воздуха в пневмосистеме; – контроль работы автоматической системы смазки Lincoln; – изменение температуры воздуха в кабине машиниста и за бортом экскаватора; – предупреждение по анализу информации о текущем состоянии механического и электрического оборудования о возможных аварийных ситуациях; – формирование, отображение и хранение списка сообщений об авариях, событиях и системных сбоях с указанием даты и времени [9].

Необходимая информация выводится в виде соответствующих видеокадров на цветную сенсорную панель оператора, расположенную в кабине машиниста. Машинист экскаватора может вывести на экран панели оператора необходимую информацию из перечисленных выше параметров.

Машинист экскаватора получает визуальную информацию о температурах подшипников. В случае перегрева на панели оператора появляется аварийное сообщение с указанием объекта аварии. С помощью датчиков воздушного потока информационно-диагностической системы сообщает машинисту информацию о наличии или отсутствии вентиляции электрических машин [5, 9].

Применение информационно-диагностической системы с указанными функциями и возможностями позволяет в сжатые сроки адаптировать работу машинистов экскаваторов к существующим горно-геологическим условиям карьера, повысить надежность оборудования экскаватора [1-20].

Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что используемая в настоящее время система планово-предупредительных ремонтов не оптимальна. При существовании различных концепций технического обслуживания остается открытым вопрос о совершенствовании стратегии технического сервиса карьерных экскаваторов.

При учете стратегии нужно учитывать факторы в комплексе, их можно систематизировать:

– внешние факторы, к основным относят климат, рельеф;

– внутренние факторы, к основным от-

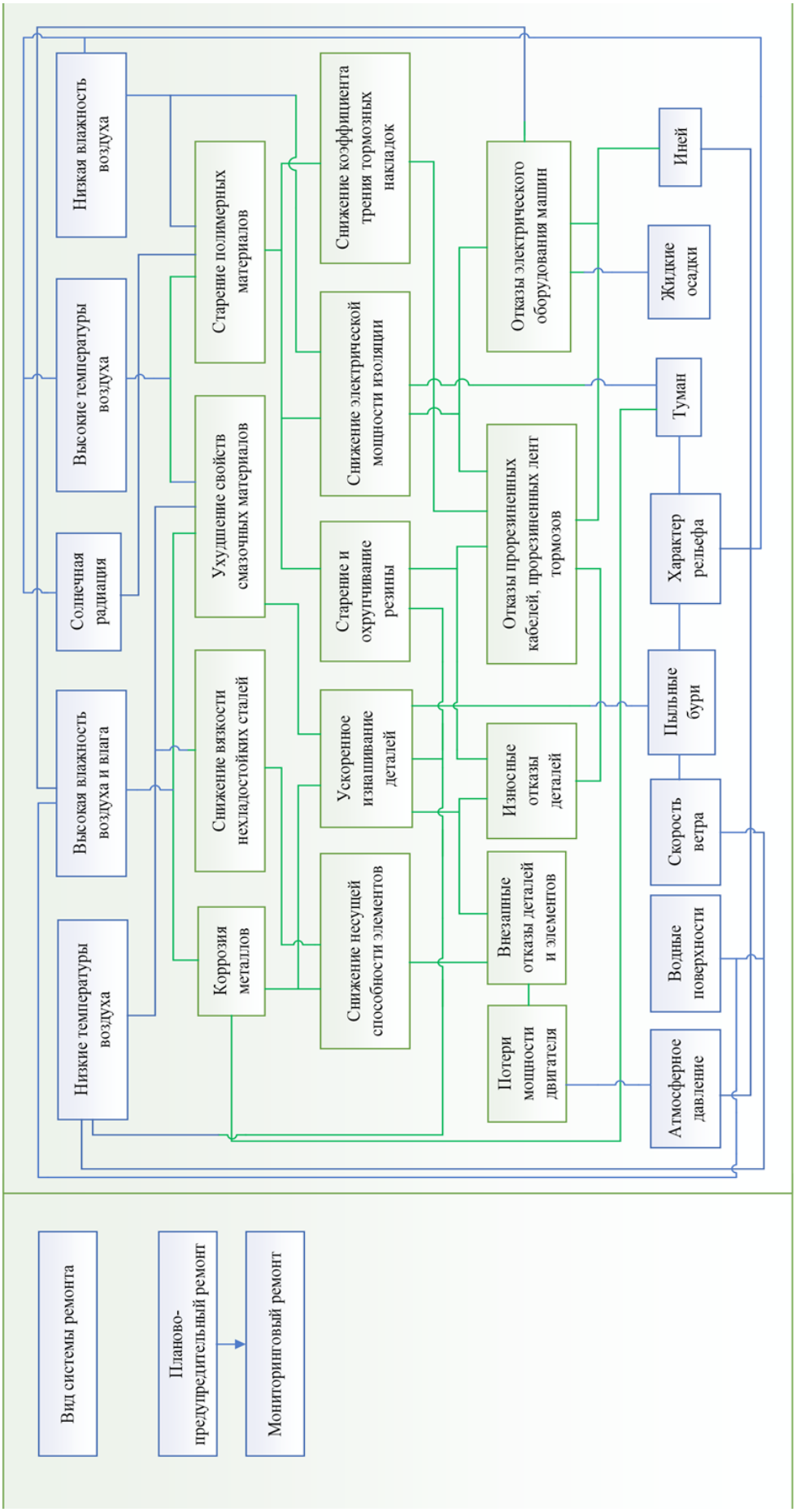

Рис. 2. Влияние внешних факторов на надежность ТТМ

носят качество узлов и агрегатов;

– общие факторы, к основным относят человеческий фактор (проектирование, создание, эксплуатация), и др.

На изменение параметров технического состояния и, следовательно, работоспособность ТТМ (рис. 2) существенное влияние оказывают низкие и высокие температуры воздуха и его влажность, скорость ветра, туманы, солнечная радиация и т.п. Воздействие этих факторов вызывает определенные виды отказов машин вследствие случайных перегрузок, усталостных явлений в материалах, действия сил трения и т.п. Причинно-следственные связи факторов надежности машин и показатели оценки качества ТТМ показаны на рис. 3 и 4.

Кроме того, климатические факторы и атмосферные явления ухудшают условия работы сопряженных элементов конструкций ДСМ из-за попадания в них абразивных частиц и влаги

Рассмотрим причинно-следственные связи основных факторов:

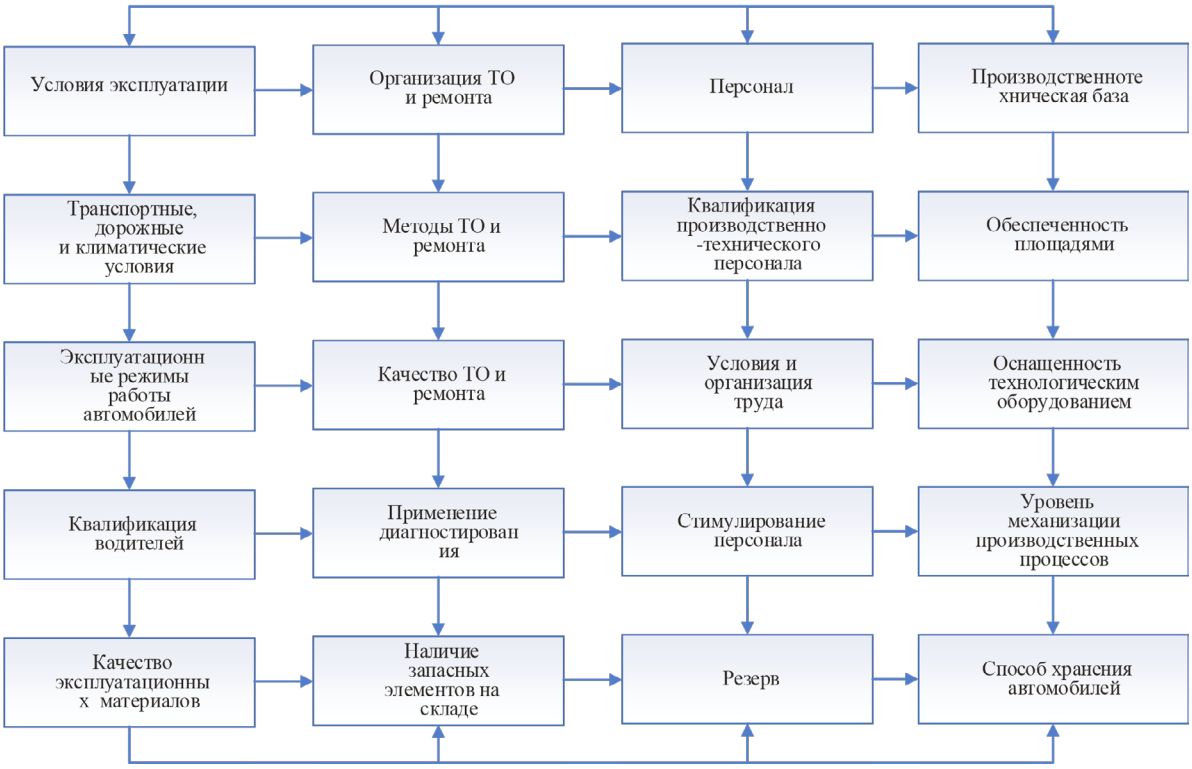

Рис. 3. Причинно-следственные связи факторов надежности

Дифференциальный метод предусматривает проведение оценки качества ремонта по совокупности показателей свойств, отремонтированного изделия. Качество ремонта считается приемлемым, если измеренные значения показателей отремонтированного изделия не уступают соответствующим нормативным значениям. Основным недостатком дифференциального метода оценки качества ремонта является невозможность учета неравнозначности различных свойств изделия и показателей, характеризующих эти свойства [1-5].

Комплексный метод позволяет оценить качество ремонта с помощью комплексного показателя, характеризующего совокупность основных свойств изделия. Комплексный показатель является функцией

Рис. 4. Показатели оценки качества транспортно-технологических машин

показателей основных свойств изделия:

$$К=\sum ni=1miqi \quad (1.1)$$

где m – коэффициент весомости i-го показателя, учитывающий его важность для оценки качества изделия; qi – показатель i-го свойства или совокупности свойств изделия.

При оценке качества ремонта для расчета комплексных показателей качества используются также другие варианты аналитических выражений.

Интегральный метод позволяет оценить качество ремонта изделия с учетом затрат на ремонт:

$$И= Э/З \quad (1.2)$$

где, И – интегральный показатель качества; Э – показатель эффективности использования отремонтированного изделия; З – затраты на ремонт изделия.

Таким образом, интегральный метод служит для проведения технико-экономического анализа качества ремонта с целью обоснования целесообразности его проведения.

Экономико-статистический метод применяется для оценки качества ремонта с помощью экономических показателей:

$$Q= Пpqp(P+SП) / Пpq(Pp+SpПp) \quad (1.3)$$

где П – производительность (или другой показатель назначения) изделия; q – показатель качества производимой изделием продукции; P – стоимость изделия; S – себестоимость продукции, производимой с помощью изделия; p – индекс, означающий принадлежность соответствующего показателя к отремонтированному изделию.

Заключение

Необходимость решения научно-прикладной проблемы повышения качества технического обслуживания и эффективности использования транспортно-технологических и горных машин не вызывает сомнения.

Мероприятия, направленные на совер-

шенствование системы ППР ведут к разработке новой системы ремонта, а именно к более универсальной и эффективной системе – «Мониторинговой системе ремонта».

Библиографический список

1. Ганин, А. Р. Стратегия развития и новая линейка карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П. Г. Коробкова» / А. Р. Ганин, А. В. Самолазов, Т. В. Донченко. – Текст : непосредственный // Горная промышленность. – 2012. – № 4 (104). – С. 28–33.
2. Андреева, Л. И. Методы формирования системы технического сервиса горно-транспортного оборудования на горнодобывающем предприятии / Л. И. Андреева ; НТЦ-НИИОГР. – Челябинск, 2004. – 210 с. – Текст : непосредственный.
3. Митюшин, В. МИФ 2 : Работы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования (ТОиР) невозможно запланировать / В. Митюшин, А. Тарасов. – URL: http://www.pacc.ru/analytics/toro/toro_2.html (дата обращения : 17.10.2012). – Текст : электронный.
4. Дорошев, Ю. С. Повышение технологической надежности карьерных экскаваторов : монография / Ю. С. Дорошев, С. В. Нестругин. – Владивосток : Издательство ДВГТУ, 2009. – 194 с. – Текст : непосредственный.
5. Развитие концепции технического обслуживания карьерных экскаваторов / Д. А. Шибанов, С. Л. Иванов, А. С. Фокин, Е. А. Мазепа. – Текст : непосредственный // Опыт прошлого – взгляд в будущее : материалы 2-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов / ТулГУ. – Тула. – 2012. – С. 22–27.
6. Фокин, А. С. Совершенствование системы технического обслуживания горных машин / А. С. Фокин, А. Ю. Маркова, С. Л. Иванов. – Текст : непосредственный // Освоение минеральных ресурсов Севера : проблемы и решения : 10-й международная научно-практическая конференция 11–13 апреля 2012 г. / Воркутский горный институт (филиал) «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – Воркута. - 2012. – С. 407–410.
7. Техническое обслуживание и ремонты оборудования. Решения НКМК-НТМК-ЕВРАЗ / под редакцией В. В. Кондратьева, Н. Х. Мухатдинова, А. Б. Юрьева. – Москва : ИНФРА-М, 2010. – 128 с. – Текст : непосредственный.
8. Казаков, В. А. Информационно-диагностическая система карьерного экскаватораЭКГ-1500Р / В. А. Казаков, А. А. Крагель. – Текст : непосредственный // Горное оборудование и электромеханика. – 2006. – № 11. – С. 36–38.
9. Шибанов, Д. А. Перспективы совершенствования системы технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов производства ООО «Из-картэкс имени П. Г. Коробкова» / Д. А. Шибанов. – Текст : непосредственный // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. - 2013. - № 8.
10. Дрыгин, М. Ю. Диагностика состояния

тяжёлой горной техники при планово-предупредительных ремонтах / М. Ю. Дрыгин, Н. П. Курышкин. – Текст : непосредственный // Динамика систем, механизмов и машин. – 2017. - №2, Т. 5. - С. 115-122.

11. Епифанцев, Ю. А. Особенности перехода от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по техническому состоянию / Ю. А. Епифанцев. – Текст : непосредственный // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. - 2011. - № 27. - С. 213-217.
12. Мандровский, К. П. Системы мониторинга дорожно-строительных, транспортных машин и дорожных покрытий / К. П. Мандровский. – Текст : непосредственный // The Materials of International Scintific-Technical Conference "Interstroimech : сборник научных статей. – КГАСУ, 2015. С. 310-315.
13. Монгуш, С. Ч. Сравнительный анализ методов определения оптимальных сроков службы машин / С. Ч. Монгуш, Н. Д. Ховалыг. – Текст : непосредственный // Вестник Тувинского государственного университета. №3 Технические и физико-математические науки. - 2014. - № 3 (22). - С. 84-91.
14. Монгуш, Э. С. Влияние климатических факторов на эксплуатационные показатели дорожно-строительных машин / Э. С. Монгуш, О. А. Чооду. – Текст : непосредственный // Вестник Тувинского государственного университета. №3 Технические и физико-математические науки. -2013. - № 3 (18). - С. 107-116.
15. Озорнин, С. Ф. Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации / С. Ф. Озорнин, И. Е. Бердиков. – Текст : непосредственный // Вестник ЗабГУ. - 2014. - № 08 (111). - С. 64-69.
16. Чооду, О. А. Обеспеченность дорожно-эксплуатационных предприятий дорожно-строительной техникой, состояние и влияние на экологию / О. А. Чооду, Ш. Б. Майны. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы исследования этноэкологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая : материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 20-летнему юбилею Тувинского государственного университета ; Году народных традиций в Республике Тыва. – Кызыл : Тувинский государственный университет. - 2015. - С. 264-266.
17. Чооду, О. А. Проблемы эксплуатации дорожных и строительных машин / О. А. Чооду. – Текст : непосредственный // Научно-технические ведомости. – 2008. – № 70. - С. 67-73.
18. Чооду, О. А. Разработка методики оценки влияния климатических условий на эксплуатацию дорожно-строительных машин (на примере территории Республики Тыва) : 05.05.04: Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины : автореферат диссертации кандидата технических наук / Чооду Остап Андреевич ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2009. - 20 с. – Текст : непосредственный.

19. Чооду, О. А. Эксплуатация горных транспортно-технологических машин на месторождениях полезных ископаемых на территории РТ / О. А. Чооду. – Текст : непосредственный // Вестник ТувГУ. - 2014. - № 3(22). - С. 92–102.
20. Чооду, О. А. Анализ условий технической эксплуатации строительно-дорожной и горной техники при открытой разработке Одегелдейского участка Актальского месторождения каменного угля / О. А. Чооду, С. Ч. Монгуш, С. А. Евтюков. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. - 2018. - Вып. 1 (66). - С. 154-163.

References

1. Ganin A. R. Strategija razvitija i novaja linejka kar'ernyh jekskavatorov proizvodstva OOO «IZ-KARTJeKS imeni P. G. Korobkova» [Development strategy and a new line of mining excavators manufactured by IZ-KARTEX named after P. G. Korobkov]. Gornaja promyshlennost' [Mining]. 2012, no. 4 (104), pp. 28–33. (In Russian)
2. Andreyeva L. I. Metody formirovanija sistemy tehnicheskogo servisa gorno-transportnogo oborudovanija na gornodobyvajushhem predprijatii [Methods of forming a technical service system for mining and transport equipment at a mining enterprise]. STC-NIIOGR, Chelyabinsk, 2004, 210 p. (In Russian)
3. Mityushin V. MIF 2 : Raboty po tehnicheskomu obsluzhivaniju i remontu oborudovanija (TOiR) nevozmozhno zaplanirovat' [Works on maintenance and repair of equipment (MRO) cannot be planned]. Available at: http://www.pacc.ru/analytics/toro/toro_2.html (access date: 10/17/2012). (In Russian)
4. Doroshev Yu. S. Povyshenie tehnologicheskoj nadezhnosti kar'ernyh jekskavatorov : monografija [Improving the technological reliability of mining excavators: monograph]. Vladivostok, Far-East State Techn.University Publ., 2009, 194 p. (In Russian)
5. Razvitie koncepcii tehnicheskogo obsluzhivanija kar'ernyh jekskavatorov [Development of the concept of maintenance of mining excavators]. Opyt proshlogo – vzgljad v budushhee : materialy 2-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh i studentov TulGU [Experience of the past - a look into the future: materials of the 2nd International scientific-practical conference of young scientists and students of Tula State University]. Tula, 2012, pp. 22–27. (In Russian)
6. Fokin A. S. Sovershenstvovanie sistemy tehnicheskogo obsluzhivanija gornyh mashin [Improving the maintenance system of mining machines]. Osvoenie mineral'nyh resursov Severa : problemy i reshenija : 10-j mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija 11–13 aprelja 2012 g. Vorkutskij gornyj institut (filial) «Nacional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet «Gornyj» [Development of mineral resources of the North: problems and solutions: 10th international scientific-practical conference April 11–13, 2012. Vorkuta Mining Institute (branch) "National Mineral Resources University" Mining"]. Vorkuta, 2012, pp. 407-410. (In Russian)
7. Ed.by Kondratieva V.V., Mukhatdinova

N.Kh., Yurieva A. B. Tehnicheskoe obsluzhivanie i remonty oborudovanija. Reshenija NKMK-NTMK-EVRAZ [Maintenance and repair of equipment. Decisions NKMK-NTMK-EVRAZ]. Moscow, INFRA-M Publ., 2010, 128 p. (In Russian)

8. Kazakov V. A. Informacionno-diagnosticheskaja sistema kar'ernogo jekskavatora JeKG-1500R [Information-diagnostic system of a career excavator EKG-1500R]. Gornoe oborudovanie i jelektromehanika [Mining equipment and electromechanics]. 2006, no.11, pp. 36–38 (In Russian)
9. Shibanov D. A. Perspektivy sovershenstvovanija sistemy tehnicheskogo obsluzhivanija i remonta kar'ernyh jekskavatorov proizvodstva OOO «Iz-kartjeks imeni P. G. Korobkova» [Prospects for improving the system of maintenance and repair of quarry excavators manufactured by Iz-karteks named after P. G. Korobkov LLC]. Vestnik PNIPU. Geologija. Neftegazovoe i gornoe delo [Journal of PNIPU. Geology. Oil, gas and mining]. 2013, no. 8, 2013. (In Russian)
10. Drygin M. Yu. Diagnostika sostojanija tjazhjoloj gornoj tehniki pri planovo-predupreditel'nyh remontah [Diagnostics of the state of heavy mining equipment during scheduled preventive repairs]. Dinamika sistem, mehanizmov i mashin [Dynamics of systems, mechanisms and machines]. 2017, no. 2, vol. 5, pp. 115-122. (In Russian)
11. Epifantsev Yu. A. Osobennosti perehoda ot planovo-predupreditel'nyh remontov k remontam po tehnicheskomu sostojaniju [Features of the transition from scheduled preventive repairs to repairs according to the technical condition]. Vestnik gorno-metallurgicheskoj sekcii Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. Otdelenie metallurgii [Journal of the mining and metallurgical section of the Russian Academy of Natural Sciences. Department of metallurgy]. 2011, no. 27, pp. 213-217. (In Russian)
12. Mandrovsky K. P. Sistemy monitoringa dorozhno-stroitel'nyh, transportnyh mashin i dorozhnyh pokrytij [Monitoring systems for road-building, transport vehicles and pavements]. The Materials of International Scintific-Technical Conference "Interstroimech : sbornik nauchnyh statej [The Materials of International Scintific-Technical Conference "Interstroimech: collection of scientific articles]. Krasnoyarsk State University of Architecture and Construction, 2015, pp. 310-315. (In Russian)
13. Mongush S. Ch. Sravnitel'nyj analiz metodov opredelenija optimal'nyh srokov sluzhby mashin [Comparative analysis of methods for determining the optimal service life of machines]. Vestnik of Tuvan State University, no. 3. Technical Sciences. Physical and Mathematical Sciences, 2014, no. 3 (22), pp. 84-91. (In Russian)
14. Mongush Je. S. Vlijanie klimaticheskih faktorov na jekspluatacionnye pokazateli dorozhno-stroitel'nyh mashin [The influence of climatic factors on the operational performance of road-building machines]. Vestnik of Tuvan State University, no. 3. Technical Sciences. Physical and Mathematical Sciences, 2013,

no. 3 (18), pp. 107-116. (In Russian)

15. Ozornin S. F. Sovershenstvovanie organizacii monitoringa izmenenij tehnicheskogo sostojanija mashin v jekspluatacii [Improving the organization of monitoring changes in the technical condition of machines in operation]. Vestnik of ZabSU, 2014, no. 08 (111), pp. 64-69. (In Russian)
16. Choodu O. A. Obespechennost' dorozhno-jekspluatacionnyh predprijatij dorozhno-stroitel'noj tehnikoj, sostojanie i vlijanie na jekologiju [Provision of road-maintenance enterprises with road-building equipment, condition and impact on the environment]. Aktual'nye problemy issledovanija jetnojekologicheskih i jetnokul'turnyh tradicij narodov Sajano-Altaja : materialy III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh, aspirantov i studentov, posvjashhennoj 20-letnemu jubileju Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta ; Godu narodnyh tradicij v Respublike Tyva [Actual problems of researching the ethnoecological and ethnocultural traditions of the peoples of Sayano-Altai: materials of the III international scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students dedicated to the 20th anniversary of Tuvan State University; The year of folk traditions in the Republic of Tuva]. Kyzyl, Tuvan State University Publ., 2015, pp. 264-266. (In Russian)
17. Choodu O. A. Problemy jekspluatacii dorozhnyh i stroitel'nyh mashin [Problems of operation of road and building machines]. Nauchno-tehnicheskie vedomosti [Scientific and technical journal]. 2008, no. 70, pp. 67-73. (In Russian)
18. Choodu O. A. Razrabotka metodiki ocenki vlijanija klimaticheskih uslovij na jekspluataciju dorozhno-stroitel'nyh mashin (na primere territorii Respubliki Tyva): Dorozhnye, stroitel'nye i pod#emno-transportnyemashiny:avtoreferatdissertacii kandidata tehnicheskih nauk [Development of a methodology for assessing the impact of climatic conditions on the operation of road-building machines (on the example of the territory of the Republic of Tuva): Road, building and hoisting-and-transport vehicles: Diss.Cand.Tech.Sci.]. Saint-Petersburg State University of Architecture and Engineering, Saint-Petersburg, 2009, 20 p. (In Russian)
19. Choodu O. A. Jekspluatacija gornyh transportno-tehnologicheskih mashin na mestorozhdenijah poleznyh iskopaemyh na territorii RT [Operation of mining transport and technological vehicles at mineral deposits in the territory of the Republic of Tuva]. Vestnik of TuvSU, 2014, no. 3 (22), pp. 92–102. (In Russian)
20. Choodu O. A. Analiz uslovij tehnicheskoj jekspluatacii stroitel'no-dorozhnoj i gornoj tehniki pri otkrytoj razrabotke Odegeldejskogo uchastka Aktal'skogo mestorozhdenija kamennogo uglja [Analysis of the conditions of technical operation of road-building and mining equipment during open-pit mining of the Odegeldeysky site of the Aktalsky coal deposit]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of civil engineers]. 2018, iss. 1 (66), pp. 154-163. (In Russian)

Чооду Остап Андреевич – кандидат технических наук, доцент, Тувинский государственный университет, Кызыл, e-mail: ostap1981@mail.ru
Монгуш Эдуард Сандак-оолович – старший преподаватель, тувинский государственный университет, Кызыл, e-mail: mongushe@yandex.ru

Ostap A. Choodu – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Tuvan State University, Kyzyl, e-mail: ostap1981@mail.ru
Eduard S. Mongush – Senior Lecturer, Tuvan State University, Kyzyl, e-mail: mongushe@yandex.ru

Дата поступления статьи в редакцию 30.01.2020

УДК 628.2(571.52)
doi 10.24411/2077-6896-2020-10026

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ВЫПУСКОВ В Г. КЫЗЫЛ

Терехов Л.Д., Майны Ш.Б.
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, г. Санкт- Петербург
Тувинский государственный университет, г. Кызыл

WAYS TO SOLVE PROBLEMS IN OPERATION OF SEWERAGE IN KYZYL

L.D. Terekhov, Sh.B. Mainy
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg
Tuvan State University, Kyzyl

В статье рассматриваются вопросы эксплуатации канализационных выпусков из здания в районах глубокого сезонного промерзания грунта. Приведены основные климатические показатели г. Кызыл. Канализационные выпуски являются одним из основных элементов системы водоотведения, определяющих ее надежность и экономичность. Система водоотведения г. Кызыла располагается в районах с суровым климатом, отличающимся глубоким сезонным промерзанием грунтов, превышающим 3,2 м.
Уменьшение глубины заложения канализационных выпусков в этих условиях является актуальной задачей. Это дает значительное снижение строительных затрат при устройстве в целом, всей канализационной сети города. Поэтому правильное назначение глубины заложения канализационного выпуска является одним из важнейших факторов надежной и экономичной работы всей системы канализации.
Ключевые слова: канализация; домовые выпуски; грунт; эксплуатация; суровый климат

The article is devoted to the operation of sewerage of the building in conditions of deep seasonal freezing of the soil. The main climatic indicators of the city of Kyzyl are given. Sewer is one of the main elements of the sewer system, which determines its reliability and effectiveness. The Kyzyl wastewater disposal system is located in harsh climatic conditions and is characterized by deep seasonal freezing of soils exceeding 3.2 m. Reducing the depth of the sewerage under these conditions is an urgent task. This gives a significant reduction in construction costs for the device as a whole, the entire sewer network of the city. Therefore, the correct assignment of the depth of the sewerage is one of the most important factors in the reliable and economical operation of the entire sewerage system.
Keywords: sewage; sewerage; soil; operation; harsh climate

Территория Восточной Сибири характеризуется резко континентальным климатом. Это проявляется в исключительно больших сезонных различиях температуры воздуха, малой облачности и повышенной глубиной сезонного промерзания грунтов 3,2 м. Зимой погода в Восточной Сибири формируется под влиянием обширной области повышенного давления – Азиатского антициклона. К этим территориям относится и Республика Тыва. Столицей Республики Тыва является город Кызыл, с населением около 120 тыс. человек.

Основные климатические показатели города приведены в таблице 1 [1-4].

Таблица 1

№ п/п	Показатель	Месяцы												Средние значения	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За лето	За зиму
1	$t_в$, °С	-27,8	-25,8	-14,8	0,6	10,8	16,5	18,5	16,3	10,2	0,9	-11,7	-23,5	13,05	-18,2
2	h_c, м	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1		0,16
3	Vв, м/с	4,1	4,1	3,8	4,2	3,9	3,5	3,3	3,5	3,8	4,1	4,3	4,2	3,7	4,1
4	n, дол. ед	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6		
5	e, гПа	0,8	1,0	1,8	3,2	5,2	10,6	14,8	13,1	7,6	3,9	1,8	1,1	9,08	1,73
6	e_0, гПа	0,4	0,4	1,6	7,1	14,0	19,0	23,0	19,0	12,0	6,1	1,6	0,4		
7	J, Вт/м^2	75,0	75,0	75,0	100,0	100,0	75,0	85,0	85,0	90,0	100,0	75,0	75,0		
8	$(Q+q)_0$, Вт/м^2	65,0	112,0	179,0	255,0	312,0	334,0	319,0	272,0	204,0	134,0	78,0	55,0		
9	R, Вт/м^2	-44,0	-35,0	-21,0	-16,0	-9,0	9,6	0,8	-8,5	-23,0	-42,0	-41,0	-45,0		
10	E, Вт/м^2	0	0	0	34,0	72,0	63,0	59,0	44,0	35,0	18,0	0	0		

где $t_в$ – среднемесячная температура воздуха, °С; h_c, – средняя за зиму толщина снежного покрова, м; $V_в$, – средняя скорость ветра, м/с; n – наблюденная облачность в долях единицы; e – абсолютная влажность воздуха, г/м^3; e_0 – максимальная упругость водяных паров, гПа; J – эффективное излучение при безоблачном небе; Вт/м^2 $(Q+q)_0$ – суммарная солнечная радиация на уровне моря, Вт/м^2 R – среднемесячное значение радиационного баланса, Вт/м^2, E – среднемесячное значение затраты тепла на испарение с поверхности, Вт/м^2

Канализационные выпуски из домов в условиях Восточной Сибири являются наиболее ответственным участком канализационной сети как в отношении опасного влияния на стабильность грунта у фундаментов зданий, так и в отношении замерзания воды в самих выпусках. В первом случае опасность заключается в местном распространении талого грунта на глубину, большую глубину заложения фундамента здания, устойчивость которого может нарушиться вследствие периодических просадок и вспучиваний грунта в основании. Во втором случае, при перемерзании выпуска сложности

возникают с отогревом замерзшей воды. Если работы по оттаиванию проводятся с опозданием, возможны разрывы труб с последующими значительными затратами на их восстановление. Правильное назначение оптимальной глубины заложения канализационного выпуска является одним из важнейших факторов надежной работы всей системы канализации.

Учитывая эти обстоятельства, на устройство домовых выпусков должно быть обращено особое внимание как в отношении выбора наиболее рациональных проектных вариантов, так и в отношении соблюдения всех требований качественного строительства выпусков.

Принципы устройства домовых выпусков и их конструкции тесно связаны с конструкциями и методами строительства зданий [5].

Очень большую опасность представляет собой вода, просачивающаяся в грунт основания. Поэтому всякая утечка из водопровода или канализации, как бы незначительна она ни была, рассматривается как авария и должна устраняться немедленно после ее обнаружения.

При устройстве канализации необходимо уделять большое внимание сохранению трубопроводов от замерзания. В периоды минимального притока сточных вод в канализационные выпуски в трубопроводе могут осаждаться взвеси и при понижении температуры в этом месте может образовываться наледь. Для предохранения от замерзания трубы прежде всего следует надежно теплоизолировать. Если в результате теплотехнических расчетов окажется необходимым слишком мощный слой теплоизоляционного материала, что приведет к значительному удорожанию строительств, тогда придется увеличивать глубину укладки выпуска, или для защиты труб от замерзания можно искусственно создавать дополнительный расход посредством сброса через санитарные приборы водопроводной воды.

Преимущество способа борьбы с замерзанием воды в трубопроводах с помощью искусственно создаваемых холостых сбросов воды в канализацию заключается в следующем:

– предохраняются от замерзания не только домовые выпуски, но и начальные участки уличной сети;

– простота осуществления, не требуется сколько-нибудь значительных усилий со стороны эксплуатационников;

– одновременно с канализацией предохраняется от замерзания и водопровод, особенно вводы в здания и участки трубопровода с малым расходом.

Наряду с перечисленными преимуществами, существующая практика холостых сбросов воды в канализацию в целях предохранения ее от замерзания имеет и недостатки:

– значительно увеличивается расход воды;

– увеличиваются затраты на эксплуатацию канализационных сетей.

Во всяком случае, при проектировании канализации надо стремиться устраивать минимальное количество выпусков из здания (лучше всего не более одного выпуска), сокращать длину выпуска от здания до наружной канализационной сети.

Этого можно достичь только в том случае, если устройство внутридомовой наружной канализации будет полностью увязано как между собой, так и с внутренней планировкой здания и квартала или микрорайона.

Выбор способа защиты домового выпуска от замерзания определяется технико-экономическими показателями и должен в каждом отдельном проекте решаться с учетом местных условий [6].

В настоящее время для устройства домовых выпусков применяют стальные и чугунные трубы. Не говоря уже о дефицитности материала и о высокой стоимости этих труб, они обладают большой теплопроводностью и значительным весом, подвергаются коррозии, а при замерзании воды в них образуются трещины. Кроме того, стыки чугунных труб при их деформации довольно часто разрушаются.

Учитывая изложенное, а также трудности, связанные с доставкой труб в районы Восточной Сибири, надо обратить серьезнейшее внимание на применение труб из других материалов и, в частности, из полимерных материалов.

Полиэтиленовые трубы и винипластовые (поливинилхлоридные), обладают рядом преимуществ по сравнению с металлическими трубами при использовании их не только для домовых выпусков, но и во всех внутренних и наружных канализационных прокладках.

Отметим общие положительные свойства полиэтиленовых труб: стойкость против химической и электрохимической коррозии, большая, чем у металлических труб, пропускная способность, что позволяет уменьшать их расчетное сечение, небольшой вес – они в 5-10 раз легче чем металлических труб, малая теплопроводность, достаточная механическая прочность и долговечность, отсутствие зарастания труб, неэлектропроводность, вследствие чего на них не действуют блуждающие токи.

В последние годы трубы из полимерных материалов получили довольно широкое распространение [7]. Производство и применение их в строительстве из года в год увеличивается.

В условиях сурового климата для устройства домовых выпусков и других наружных прокладок наиболее пригодными трубами являются полиэтиленовые, так как полиэтилен обладает многими положительными свойствами по сравнению с другими полимерными материалами.

Из всех видов полимеров полиэтилен самый легкий, обладает высокой морозостойкостью. При замерзании воды полиэтиленовые трубы не разрушаются, так как при образовании льда полиэтилен растягивается, а при таянии льда снова сжимается.

Благодаря большой прочности и упругости полиэтиленовые трубы хорошо противостоят усилиям, возникающим при деформации почвы.

Выводы

При проектировании и строительстве домовых выпусков от жилых и общественных зданий в целях создания оптимальных условий для их работы необходимо руководствоваться следующими положениями: при внутренней планировке зданий надо

стремиться к компактному размещению санузлов в здании (объединение не менее четырех санузлов в каждом этаже одним канализационным стояком); объединять несколько стояков на один выпуск; количество выпусков должно быть минимальным; проводить мероприятия по предотвращению попадания сточных вод из выпуска в грунт; целесообразно выпуски выполнять из полиэтиленовых труб взамен металлических.

Библиографический список

1. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200095546 (дата обращения: 26.03.2020). - Текст : электронный.
2. Майны, Ш. Б. Особенности взаимодействия безнапорных канализационных трубопроводов подземной прокладки с несогласующимися грунтами / Ш. Б. Майны, С. С. Седип. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. - 2015. - № 1 (79). -С. 144-146.
3. Терехов, Л. Д. Экспериментальное исследование оттаивания грунта вокруг канализационных трубопроводов мелкого заложения в зимнее время / Л. Д. Терехов, Ш. Б. Майны, Н. А. Черников. – Текст : непосредственный // Вода и экология : проблемы и решения. - 2019. - № 4 (80). - С. 71-78.
4. Терехов, Л. Д. Исследование изменения теплового режима канализационных сетей в зимний период / Л. Д. Терехов, Ш. Б. Майны. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. - 2019. - № 12. - С. 42-47.
5. Воловник, Г. И. Общие вопросы технической эксплуатации коммунальных систем водоснабжения и водоотведения : учебное пособие для студентов направления 653500 (270100) «Строительство» по специальности 290800 (270112) «Водоснабжение и водоотведение» вузов региона / Г. И. Воловник, Л. Д. Терехов, М. И. Коробко. - Хабаровск : Издательство ГОУ ВПО ДВГУПС, 2005. - 84 с. – Текст : непосредственный.
6. Майны, Ш. Б. Анализ опыта строительства и эксплуатации канализационных трубопроводов в районах глубокого сезонного промерзания грунтов / Ш. Б. Майны, О. В. Заборщиков. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы современного строительства : 62-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых: сборник материалов конференции: в 5 частях. Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. - 2009. - С. 13-17.
7. Продоус, О. А. Гидравлические характеристики раструбных труб из ВЧШГ с полиуретановым покрытием внутренней поверхности / О. А Продоус, Л. Д. Терехов. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. - 2017. - № 5. - С. 53-57.

References

1. SP 131.13330.2012. Stroitel'naja klimatologija. Aktualizirovannaja

redakcija SNiP 23-01-99* [Set of Rules. 131.13330.2012. Building Climatology. Updated edition of Building Regulations 23-01-99 *]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200095546 (access date: 26.03.2020). (In Russian)

2. Mainy Sh.B., Sedip S.S. Osobennosti vzaimodejstvija beznapornyh kanalizacionnyh truboprovodov podzemnoj prokladki s nesoglasujushhimisja gruntami [Features of the interaction of pressureless sewer pipelines of the underground installation with inconsistent soils]. Estestvennye i tehnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]. 2015, no. 1(79), pp. 144-146. (In Russian)
3. Terekhov L.D., Mainy Sh.B., Chernikov N.A. Jeksperimental'noe issledovanie ottaivanija grunta vokrug kanalizacionnyh truboprovodov melkogo zalozhenija v zimnee vremja [An experimental study of thawing soil around shallow sewage pipelines in winter]. Voda i jekologija: problemy i reshenija [Water and Ecology: Problems and Solutions]. 2019, no. 4 (80), pp. 71-78. (In Russian)
4. Terekhov L.D., Mainy Sh.B. Issledovanie izmenenija teplovogo rezhima kanalizacionnyh setej v zimnij period [The study of changes in the thermal regime of sewer networks in the winter]. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika [Water supply and sanitary equipment]. 2019, no. 12, pp. 42-47. (in Russian)
5. Volovnik G.I., Terekhov L.D., Korobko M.I. Obshhie voprosy tehnicheskoj jekspluatacii kommunal'nyh sistem vodosnabzhenija i vodootvedenija: uchebnoe posobie dlja studentov napravlenija «Stroitel'stvo» po special'nosti «Vodosnabzhenie i vodootvedenie» vuzov regiona [General issues of technical operation of communal water supply and sanitation systems: textbook for students of the “Construction” direction in the specialty “Water supply and sanitation” of regional universities]. Khabarovsk, Far Eastern State Transport University Publ., 2005, 84 p. (In Russian)
6. Mainy Sh.B., Zaborshikov O.V. Analiz opyta stroitel'stva i jekspluatacii kanalizacionnyh truboprovodov v rajonah glubokogo sezonnogo promerzanija gruntov. V sbornike: Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva 62-ja Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija molodyh uchenyh: sbornik materialov konferencii: v 5 chastjah [Analysis of experience in the construction and operation of sewer pipelines in areas of deep seasonal freezing of soils. Actual problems of modern construction. The 62nd International Scientific and Technical Conference of Young Scientists: a collection of conference materials: in 5 parts]. Federal'noe agentstvo po obrazovaniju, Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2009, pp. 13-17. (In Russian)
7. Prodous O.A., Terekhov L.D. Gidravlicheskie harakteristiki rastrubnyh trub iz VChShG s poliuretanovym pokrytiem vnutrennej poverhnosti [Hydraulic characteristics of bell pipes made of ductile iron with polyurethane coating of the inner surface]. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika [Water supply and sanitary equipment]. 2017, no. 5, pp. 53-57. (In Russian)

Терехов Лев Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, E-mail: levter4@rambler.ru
Майны Шончалай Борисовна, старший преподаватель кафедры городского хозяйства Тувинского государственного университета, г. Кызыл, E-mail: shonchikspb@mail.ru

Lev D. Terekhov, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Water Supply, Wastewater Disposal and Hydraulics, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, E-mail: levter4@rambler.ru
Shonchalay B. Mainy, Senior Lecturer at the Department of Urban Economy, Tuvan State University, Kyzyl, E-mail: shonchikspb@mail.ru

Дата поступления статьи в редакцию 03.02.2020

УДК 662.8(571.52)
doi 10.24411/2077-6896-2020-10027

БРИКЕТИРОВАНИЕ СНЕГА ПРИ УБОРКЕ МАЛЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

Сандан Н.Т.
Тувинский государственный университет, г. Кызыл

SNOW BRIQUETTING WHEN CLEANING SMALL TERRITORIES OF THE REPUBLIC OF TYVA

N.T. Sandan
Tuvan state University, Kyzyl

В настоящее время проблема уборки и утилизации снежного покрова является актуальной для всей территории Республики Тыва. В средней полосе (в том числе и в Кызыле) снег лежит около полугода, и на очистку улиц ежегодно городские власти тратят огромное количество средств. Непосредственно на уборку снега идет лишь незначительная часть этих затрат – львиная же их доля расходуется на транспортирование за пределы города и его утилизацию. Решить проблему более полного использования грузоподъемности автомобилей можно путем загрузки в кузова спрессованного снега плотностью близкой к 850-900 кг/м3. Машина должна передвигаться своим ходом, должна предназначаться для уборки дворовых территорий и автомобильных дорог средней и малой загруженности.
Ключевые слова: Республика Тыва; автомобильные дороги; трактор МТЗ-82.1; снегоочиститель; уборка снега

The problem of cleaning and disposal of snow cover is relevant for the entire territory of the Republic of Tuva. In the middle lane (including Kyzyl), snow lies for about six months, and a huge amount of money is spent annually on cleaning the streets. Removal of snow itself does not cost so much as its transportation and disposal out of the city. It is possible to solve the problem of fully utilizing the carrying capacity of cars by loading pressed snow bricks with a density 850-900 kg / m3 into the truck body. Snow blower machines should be intended for the cleaning of domestic territories and highways of medium and low congestion.
Keywords: Republic of Tuva; highways; MTZ-82.1 tractor; snow blower; snow removal

Снежный покров на дорогах и аэродромах Республики Тыва образуются в результате снегопадов и метелей. На его формирование оказывают влияние климатические и природные условия. При спокойном снегопаде (в безветренную погоду) или при верховой метели (когда выпадение снега происходит при ветре, но нет переноса частиц ранее выпавшего снега) образуется обычно равномерный покров снега небольшой

толщины и незначительной плотности и прочности. При поземках (переносе частиц ранее выпавшего снега с незначительным поднятием снега над уровнем снежного покрова) и особенно при низовой метели, когда снежные частицы переносятся высоко над уровнем снежного покрова, образуются заносы, которые даже при отсутствии снегопада нередко достигают большой толщины и значительной плотности и прочности.

Слой снега на поверхности земли не является простым скоплением снежинок, выпавших из облаков. Из-за разности температур по высоте снежного покрова происходит процесс возгонки: снег, расположенный в нижних, более теплых слоях, переходит из твердого состояния в парообразное и, поднимаясь в верхние слои, охлаждается, образуя ледяные корки. После новых снегопадов эти ледяные слои оказываются в глубине покрова, и под влиянием непрерывного изменения метеорологических условий снежный слой оказывается состоящим из различных видов снега, вследствие чего его структура и физико-механические свойства неодинаковы по высоте снежного покрова и зависят от многих факторов.

Различают следующие группы и виды снега: свежевыпавший (сухой и влажный); уплотненный лежалый (осевший сухой, осевший влажный и метелевый); старый, слежавшийся (мелкозернистый, среднезернистый, крупнозернистый и снег-плывун).

Очистку автомобильных дорог от снега производят специальными снегоочистительными машинами. Основной вид очистки дорог от снега – патрульная снегоочистка, которая производится периодическими проходами плужных или плужно-щеточных снегоочистителей по закрепленному участку в течение всей метели или снегопада.

Комбинированная дорожная машина ДМК-40-02 представляет собой автомобиль-самосвал, предназначенный для использования как самосвальное автотранспортное средство грузоподъемностью до 15 тонн, так и автомобиль с навесным снегоочистительным, пескоразбрасывающим и поливомоечным оборудованием для круглогодичного содержания автомобильных дорог.

Рис.1 Машина комбинированная ДМК-40-02 (шасси КАМАЗ-53229 6х4)

В состав оборудования для зимнего содержания дорог такой машины входит:

• передний скоростной отвал для очистки автодорог от снега в скоростном режиме;

• боковой отвал для расширения зоны уборки и удаления снега с обочины дороги;

• средний отвал с дополнительным выдвижным крылом производит разработку наледи и наката. В летний период отвал используется для планирования сыпучих материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог;

Снегоуборочные машины СНФ-200 имеют индивидуальную настройку направления выброса снега, выкидная труба с направляющим желобом может поворачиваться на угол 190°, что позволяет отбрасывать снег точно в намеченную сторону.

Рис.2 Снегоуборочная машина СНФ-200

Существует возможность произвольного варьирования желоба. И дает возможность использования этой машины для погрузочных работ. Снегоуборочная машина СНФ-200 компактная, очень маневренная и легкая в управлении, предназначена для уборки дорог с твердым и грунтовым покрытием от снега, а также для погрузки его в транспортные средства; может использоваться для удаления снежных валов, образованных бульдозерами и плужными снегоочистителями. При необходимости снегоочиститель может обеспечивать перекидку снега или укладку его в валы. Снегоуборочная машина СНФ-200 имеет высокую маневренность, возможность перехода с 4- колесного на 2- колесный; независимый привод движения двух раздельных валов обеспечивают независимое активирование снегоуборочного шнека и привода движения. Зубчатый металлический шнек удобен при уборке тяжелого, затвердевшего снега. Снегоуборочная машина СНФ-200 рассчитана на интенсивную работу в любое время дня и ночи, простота ввода в эксплуатацию за счет устройства электрического запуска (220В).

На тракторе МТЗ-82.1 установлены надежные и мощные двигатели. 4-тактный двигатель отличается великолепной способностью к пуску при низких температурах. Поэтому уборка снега не представляет проблем даже при экстремально низких температурах.

Рис. 3 Трактор «Беларусь» МТЗ-82.1 с роторным снегоочистителем Амкадор 9211А1

Снег обладает следующими важными свойствами: плотностью, твердостью, влажностью, температурой, пределом прочности на сжатие.

Плотность снега увеличивается под действием нагрузки. Наиболее интенсивно плотность растет вначале, затем ее рост с увеличением нагрузки постепенно замедляется и, достигнув предельного значения, соответствующего данной температуре, стабилизируется. Для каждого вида снега существует критическая нагрузка, увеличение которой практически не приводит к дальнейшему увеличению плотности. Предельное значение плотности снега тем выше, чем выше его температура, а самое эффективное уплотнение происходит при температуре близкой к 0°С.

Конечная плотность снежного шара изготовленного при помощи разрабатываемой установки напрямую зависит от исходной плотности, которой снег обладает на момент поступления его на барабаны. Так как заранее плотность убираемого снега не может быть известна (она колеблется от 80 кг/м^3 – для свежевыпавшего тонким слоем снега до 500 – для старого обвалованного слежавшегося снега), то нужно стремиться к тому, чтобы на входе на барабаны плотность его приближалась к усредненной – 350-450 кг/м^3.

Этому будут способствовать следующие решения:

1. Увеличению плотности снега способствует его перемешивание, вызывающее сближение кристаллов, разрушение связей между ними, смешивание крупных и мелких кристаллов с образованием более компактной по структурному составу смеси. Поэтому перед попаданием снежной массы непосредственно на барабаны, снежная масса из бункера будет подаваться винтовыми питателями, полый вал которого будет являться также распределителем теплого воздуха в снеге.

2. Снегоочиститель (фрезерно-ротор-

ный), установленный на снегоуборочную машину, способен разрабатывать (разрыхлять) снежную массу плотностью до 600 кг/м3 (плотность снежного наката на дорогах), а при разработке мягкого снега - дополнительно уплотнять его, так как фрезерование является эффективным процессом первичного перемешивания убранной снежной массы. Твердость снега зависит от его плотности и очень сильно от температуры, твердость увеличивается с уменьшением зерен снега и с уменьшением пористости, как результат перемешивания.

Предел прочности снега на сжатие величина, возрастающая с увеличением плотности снега и его температуры, характеризующая несущую способность уплотненной снежной массы. Основным условием уплотнения снега, как, впрочем, и любого материала, является то, что удельное давление штампа всегда должно быть меньше предела прочности уплотняемой снежной массы, иначе возможно структурное разрушение брикета и выдавливание снега через зазоры прессовальной камеры.

Кроме компактной укладки зерен снега, сближения и контактирования, необходимо еще образовывать надежную связь между ними, обеспечить достаточную сопротивляемость внешнему разрушению, действующему на готовый шар. Для этой цели нужны связующая среда и отрицательная температура. Для образования прочного снежного монолита необходимо влажность снега довести до 10%. Поэтому в установке необходимо предусмотреть принудительный подогрев снежной массы, который возможно отключить при уборке снега при уличной температуре близкой к 0^0 С. Агрегат брикетирования снега изготовляет снежные блоки в виде шара диаметром 75 мм.

Прессовальный агрегат состоит из следующих частей: приемный бункер; два винтовых питателя; два прессующих барабана; две форсунки, для увлажнения снега.

Винтовые питатели необходимы для подачи снега на прессующие барабаны и предварительного сжатия снежной массы.

Прессующие барабаны являются основным рабочим органом установки и предназначены непосредственно для спрессовывания снежной массы.

Установка работает следующим образом. Разрыхленная снегоочистителем снежная масса подается им через направляющий патрубок и насадок в приемный бункер, откуда попадает в винтовые питатели, где подвергается предварительному уплотнению. Полый вал питателя является каналом для подачи отработавших газов и горячего воздуха, что способствует процессу уплотнения. Поступление отработавших газов и воздуха в питатель регулируется в зависимости от погодных условий, при которых осуществляется уборка. Затем, предварительно уплотненный снег попадает непосредственно на прессующие барабаны, принцип работы которых основан на объемном сжатии. На выходе из барабанов плотность снега достигает 750-800 кг/м^3. Из прессующих барабанов снежные брикеты, в виде шаров попадают на конвейер, который выгружает их на прилегающую к дорожному пути территорию. Вращение валов питателя и снегоочистителя осуществляется радиально-поршневыми гидромоторами через соответствующие передачи (цепную – для питателя; предусмотренную

конструкцией – для снегоочистителя).

Предварительно уплотненный снег поступает из винтового питателя сверху, затягивается между барабанами. Привод барабанов осуществляется через шестеренчатую передачу. Приводится во вращение один валок, а другой связан с первым шестернями с удлиненными зубьями.

Определяем распорное усилие:

$$P = b \cdot \mu_M \cdot v \cdot (1+f) \cdot R \cdot \frac{\Delta - 1}{t_0 \cdot \Delta},$$

где b – длина барабана, м;

μ_M – вязкость снега, выбирается по реологическим кривым в зависимости от градиента скорости $\mu_M = f(\gamma)$, Па с;

v – окружная скорость барабана, м/с;

f – отношение количества оборотов барабанов;

R – радиус барабана, м; Δ – параметр.

Согласно полученному значении градиента скорости принимаем вязкость снега $\mu_M = 40$ Па•с.

$$\Delta = 1 + (2R / t_0)(1 - \cos\alpha),$$

где t_0 – зазор между барабанами, м;

α – угол захвата снега, α =22°.

Определим мощность, потребляемую барабаном:

$$N = \frac{\mu_M \cdot v \cdot (1+f)(\Delta - 1) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot b}{45 \cdot \Delta \cdot l \cdot \eta} \ln(\Delta \cdot n),$$

где l – дуга захвата материала, м;

η – КПД механизма.

Прочностной расчет вала барабана выполним с использованием сред *Autodesk Inventor* и *Autodesk Mechanical Desktop* с использованием метода конечных элементов.

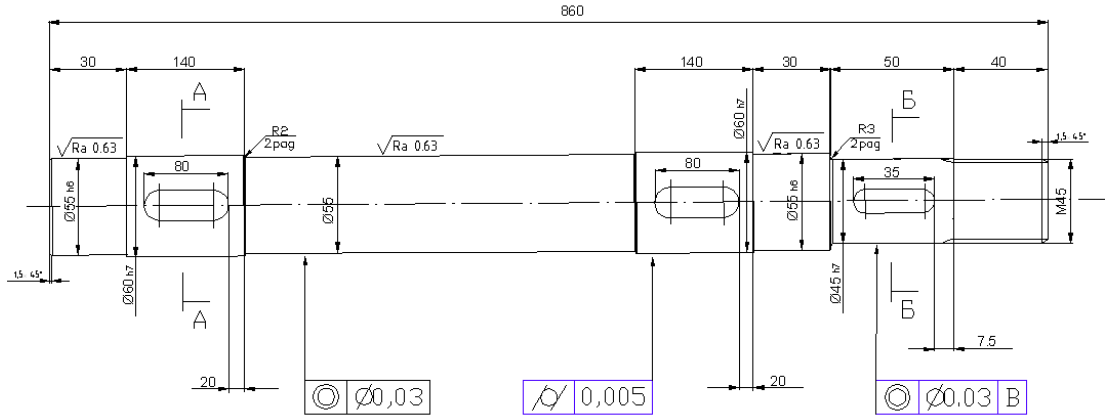

Рис. 4. Геометрические характеристики вала прессующего барабана

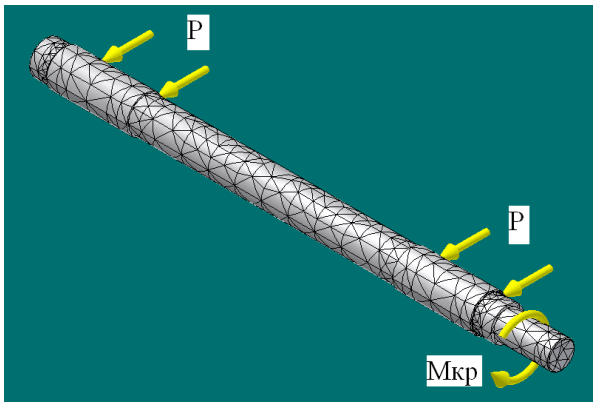

Рис.8. Сеточная модель вала барабана: P – распорное усилие, Н; Мкр – крутящий момент Н·м

При анализе методом конечных элементов сплошная конструкция вала барабана разбивается на трехмерные элементы – тетраэдры.

Допускаемое напряжение для материала Сталь 45 $[\sigma]$=175 МПа.

Результаты прочностного расчета методом конечных элементов сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты расчета

Имя	Минимальная	Максимальная
Объем	2067930 мм^3	
Масса	16,2332 кг	
Напряжение по Мизесу	0,000205735 МПа	171,998 МПа
1-ое основное напряжение	-34,9379 МПа	140,849 МПа
3-е основное напряжение	-189,063 МПа	12,8519 МПа
Смещение	0 мм	0,0211815 мм
Коэфф. запаса прочности	1,77846 бр	15 бр
Напряжение XX	-183,978 МПа	105,79 МПа
Напряжение XY	-74,5351 МПа	30,4922 МПа
Напряжение XZ	-48,5668 МПа	23,6914 МПа
Напряжение YY	-161,584 МПа	35,7221 МПа
Напряжение YZ	-17,8464 МПа	17,8744 МПа
Напряжение ZZ	-52,0369 МПа	43,077 МПа
Смещение по оси X	-0,00311353 мм	0,00316831 мм
Смещение по оси Y	-0,0211815 мм	0,000140663 мм
Смещение по оси Z	-0,00113758 мм	0,000202237 мм
Эквивалентная деформация	0,000000000854731 бр	0,00074165 бр
1-ая основная деформация	-0,0000150925 бр	0,000615858 бр
3-я основная деформация	-0,000828488 бр	-0,000000000707313 бр
Деформация XX	-0,00079701 бр	0,000440252 бр
Деформация XY	-0,000461408 бр	0,000188761 бр
Деформация XZ	-0,000300652 бр	0,000146661 бр
Деформация YY	-0,000645146 бр	0,000321375 бр
Деформация YZ	-0,000110477 бр	0,000110651 бр
Деформация ZZ	-0,0000885562 бр	0,000230016 бр

В результате расчета установили, что максимальное фактическое напряжение, возникающее при использовании вала барабана по назначению, $\sigma_{MAX} = 171,998$ МПа не превышает допускаемого значения $[\sigma] = 175$ МПа. Недогрузка вала составляет 1,7%. Таким образом, результаты прочностного расчета показывают, что обеспечена оптимальная металлоемкость вала и вал полностью пригоден к эксплуатации [1-10].

В результате проделанной работы нами была рассмотрена установка для изготовления снежных брикетов. Конструкция представляет собой компактный, маневренный, легкий в управлении, не требующий специальных навыков вождения базовый автомобиль с установленными на его платформу прессовальным агрегатом и вспомогательными устройствами. Трактор «Беларусь» МТЗ-82.1 может эффективно использоваться как мелкими коммунальными хозяйствами для уборки дворов и прилегающих территорий, так и достаточно крупными организациями Республики Тыва, специализирующимися на уборке снежного покрова, очистке дорог, аэродромом, горнолыжных трасс.

Библиографический список

1. Евтюков С.А. Строительные машины. Учебное пособие. /С.А. Евтюков, С.А. Рысс-Березарк, Я. Райчык.− СПб.:СПбГАУ.,2000.−167 с.
2. Евтюков С.А., Сандан Н.Т. Особенности эксплуатации парков машин в условиях низких температур / С.А. Евтюков, Н.Т.

Сандан // Вестник гражданских инженеров. – 2016. - № 2 (55). – С. 186-191.

3. Евтюков С.А., Шиманова А.А. Управление жизненным циклом машины с целью повышения эффективности использования парка машин для зимнего содержания дорог / Вестник гражданских инженеров. № 4. 2017. – С. 205-212.
4. Липин А.А., Технология брикетирования снега при уборке малых территорий // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.;
5. Сандан Н.Т. Влияние износа на изменение эксплуатационных свойств наземных транспортно-технологических машин в процессе эксплуатации / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, С.В. Репин // Вестник гражданских инженеров, Выпуск 1(66). Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАСУ, 2018. – 150-153 с.
6. Сандан Н.Т. Влияние на изменение работоспособности гидроцилиндров рабочего оборудования экскаваторов в условиях эксплуатации / Н.Т. Сандан // Вестник Тувинского государственного университета, Выпуск 3(34). Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2017. – 58-64 с.
7. Сандан Н.Т. Влияние низких температур на эксплуатацию машин и механизмов в Республике Тыва / Н.Т. Сандан // Вестник гражданских инженеров, Выпуск 3(68). Санкт-Петербург: Изд-во СПбГАСУ, 2018. – 161-165 с.
8. Сандан Н.Т. Проблемы зимнего пуска двигателя в условиях низких температур в Республике Тыва. / Н.Т. Сандан // Вестник Тувинского государственного университета, Выпуск 3(30). – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2016. – С. 139-150.

References

1. Evtyukov S.A. Stroitel'nye mashiny. Uchebnoe posobie [Construction vehicles. Tutorial]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Architecture and Construction University, 2000, 167 p. (In Russian)
2. Evtyukov S.A., Sandan N.T. Osobennosti jekspluatacii parkov mashin v uslovijah nizkih temperatur [Features of the operation of fleets at low temperatures]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of civil engineers]. 2016, no. 2 (55), pp. 186-191. (In Russian)
3. Evtyukov S.A., Shimanova A.A. Upravlenie zhiznennym ciklom mashiny s cel'ju povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija parka mashin dlja zimnego soderzhanija dorog [Managing the life cycle of a car to increase the efficiency of using a fleet of vehicles for winter road maintenance]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of civil engineers]. No. 4, 2017, pp. 205-212. (In Russian)
4. Lipin A.A. Tehnologija briketirovanija snega pri uborke malyh territorij [Snow briquetting technology for cleaning small areas]. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern problems of science and education]. 2014, no. 6. (In Russian)
5. Sandan N.T. Vlijanie iznosa na izmenenie jekspluatacionnyh svojstv nazemnyh transportno-tehnologicheskih mashin v processe jekspluatacii [The effect of wear on the change in the operational properties of ground transport and technological machines during operation]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of Civil

Engineers], Issue 1 (66). Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Architecture and Construction University Publ., 2018, pp. 150-153. (In Russian)

6. Sandan N.T. Vlijanie na izmenenie rabotosposobnosti gidrocilindrov rabochego oborudovanija jekskavatorov v uslovijah jekspluatacii [Influence on changing the working capacity of hydraulic cylinders of working equipment of excavators in operating conditions]. Vestnik of Tuvan State University, issue 3 (34). Kyzyl, TuvSU Publ., 2017, pp. 58-64. (In Russian)
7. Sandan N.T. Vlijanie nizkih temperatur na jekspluataciju mashin i mehanizmov v Respublike Tyva [The effect of low temperatures on the operation of machines and mechanisms in the Republic of Tuva]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov [Journal of Civil Engineers]. Issue 3 (68). Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Architecture and Construction University Publ., 2018, pp. 161-165. (In Russian)
8. Sandan N.T. Problemy zimnego puska dvigatelja v uslovijah nizkih temperatur v Respublike Tyva [Problems of winter engine starting at low temperatures in the Republic of Tuva]. Vestnik of Tuvan State University, issue 3 (30). Kyzyl, TuvSU Publ., 2016, pp. 139-150. (In Russian)

Сандан Нелли Тимуровна – ассистент кафедры «Транспортно-технологические средства» ФГБОУ ВО Тувинского государственного университета, e-mail: sandan.nelli@yandex.ru

Nelli T. Sandan – Assistant at the Department of Transport and Technological Means, Tuvan State University, e-mail: sandan.nelli@yandex.ru

Дата поступления статьи в редакцию 17.01.2020

УДК 656.072:364.04
doi 10.24411/2077-6896-2020-10028

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПЕРЕВОЗОК ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Шавыраа Ч.Д.
Тувинский государственный университет, г. Кызыл

EVALUATION OF QUALITY OF DISABLED PERSONS TRANSPORTATION SERVICE

Ch. D. Shavyraa
Tuvan State University, Kyzyl

В современном мире качество транспортного обслуживания является наиболее актуальным для системы автомобильного пассажирского транспорта, в первую очередь для развития конкурентной борьбы между перевозчиками всех форм собственности, что является двигателем для оказания своевременных, удобных для пассажиров, безопасных услуг.
Но перевозчики обслуживают в большей части здоровое население. Никто не задумывается о том, что люди с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) тоже хотят участвовать в жизни города, выезжать на прогулки, получать медицинскую помощь в поликлинике и т.д. Руководителей организаций и предприятий обязывают строить пандусы для лиц ОВЗ, но никто не предоставляет им возможность приехать на специализированных транспортных средствах до места назначения.
С каждым годом строятся новые здания, микрорайоны, дороги и другие инженерные сооружения. Вызов легкового такси обходится дорого, в часы – пик невозможно уехать из отдаленных микрорайонов города. Поэтому проблема обслуживания лиц с ОВЗ является важной и нужной.
Ключевые слова: транспорт; качество; услуга; пассажиры; уровень обслуживания; перевозчики

In the modern world, the quality of transport services is the most relevant for the automobile passenger transport system, primarily for the development of competition between cab companies of all forms of ownership, which is the engine for providing timely, convenient and safe services. But cab companies serve mostly healthy populations. It is important to involve people with disabilities (HIA) to the city life, to let them go for walks and get medical care in hospitals and clinics, etc. Heads of organizations and enterprises are obliged to build wheelchair ramps for people with disabilities, but no one gives them the opportunity to travel by specialized vehicles to their destination.
Every year new buildings, housing estates, roads and other engineering structures are being built. Calling a passenger taxi is expensive, during rush hours it is impossible to leave the remote

microdistricts of the city. Therefore, the problem of servicing people with disabilities is important and relevant.

Key words: transport; quality; service; passengers; level of service; cab companies

Для города Кызыл в настоящее время существует проблема обслуживания лиц с ограниченными физическими возможностями. Для пассажиров существуют маршрутные такси, автобусы, легковые такси. Но когда дело доходит до лиц с ограниченными возможностями здоровья (далее - ОВЗ), родные и близкие не знают, куда обращаться, чтобы хотя бы элементарно доехать до поликлиники или больницы для получения медицинской помощи.

В странах Европы существуют службы, которые курируют данные лица и оказывают им посильную помощь. Представители администраций не задумываются над данной проблемой. До сих пор в г. Кызыл нет службы, которая помогала бы заказать специальный автомобиль для лежачих больных, инвалидов-колясочников и других лиц, которые не могут пользоваться общественным транспортом. Для создания доступной среды для всех слоев населения необходимо понимать, что существуют люди, нуждающиеся в неравнодушном отношении, проблемы которых могут и должны быть решены. Транспортная доступность довольно больной вопрос, если человек попадает в такую ситуацию впервые. В утренние часы-пик не только лица с ОВЗ, даже здоровое население не может получить соответствующее качественное обслуживание, т.к. автобусы особо малого класса не справляются с пассажиропотоками.

В настоящее время происходит переход от оценки отдельных видов движения (пешеходное перемещение, маршрутный транспорт, личный автомобиль) к их интегральной оценке [1]. Так как разные виды пользователей взаимодействуют в пространстве городской улицы, важно установить, каким образом изменение уровня обслуживания одного вида пользователей влияет на уровни обслуживания других.

Вопросы качества транспортного обслуживания являются наиболее актуальными для системы автомобильного пассажирского транспорта особенно в малых городах, т.к. обслуживая население, он существенно влияет на его деятельность, экономическую и социальную ситуацию в регионе [2].

Классификация показателей качества пассажирских автобусных перевозок с учетом требований ГОСТ Р 51004-96[1] приведена на рис. 1.1.

Порядок выбора номенклатуры показателей качества должен предусматривать учет следующих факторов:

Основные требования пассажиров, как потребителей к перевозочному процессу и условиям обслуживания для разных городов может быть неодинаковым. Но при этом следует учесть такие основные показатели как технический, эстетический, эксплуатационные уровни. Для лиц с ОВЗ требования к подвижному составу может

1 ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества. ГОССТАНДАРТ РОССИИ. М.: 1997. – 8 с.

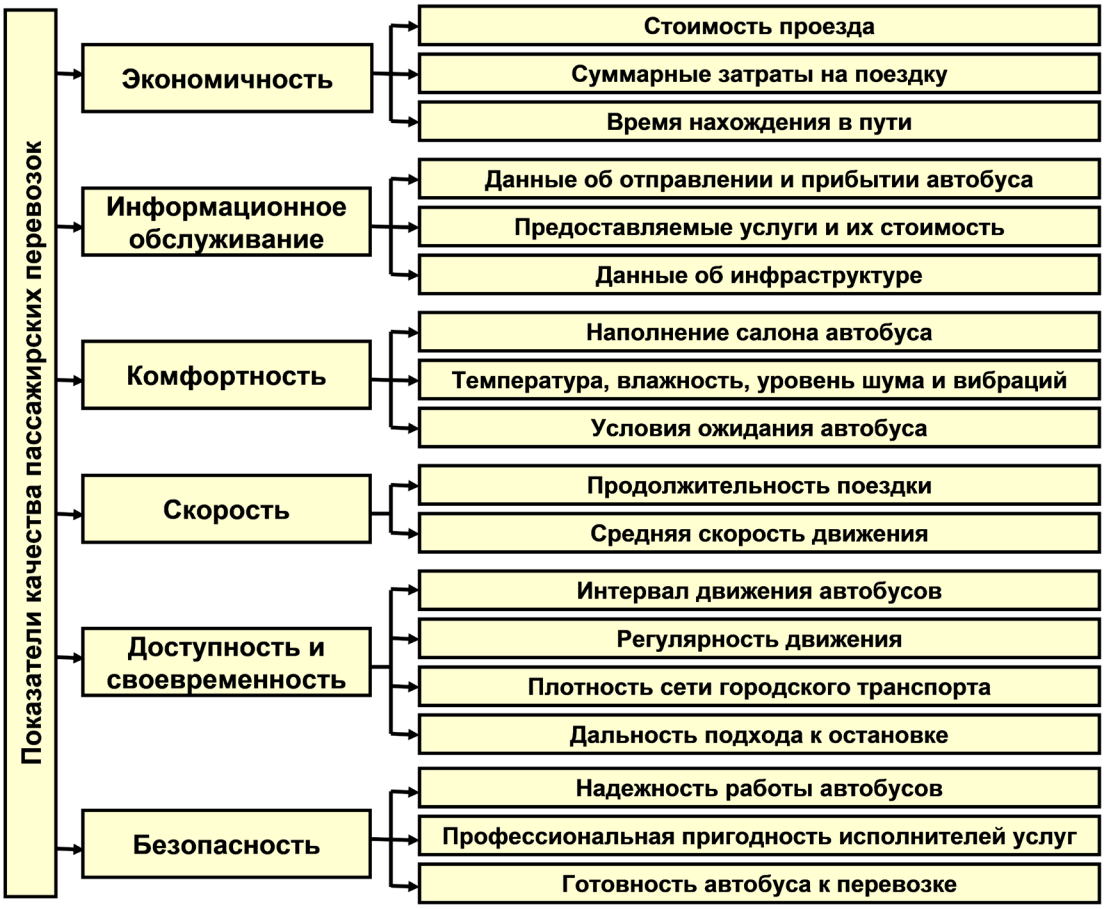

Рис. 1.1. Классификация показателей качества пассажирских автобусных перевозок

быть иным. Для них важно иметь возможность заказать транспортное средство до «двери», и при этом транспортное средство должно быть платформой пониженной высоты.

Из классификационных показателей качества первую очередь внимание уделяется экономичности услуг. При вызове транспортных средств для лиц с ОВЗ должны быть учтены стоимость проезда, суммарные затраты на поездку в месяц.

Информационное обслуживание перевозок в г. Кызыл находится на низком уровне. Нет специальных сайтов для лиц ОВЗ. Проблематичной является вызов такси даже в ближайших поселках-спутниках города. Автомобили-такси перегружены в часы-пик, они работают по заранее составленному расписанию.

По данным Отделения Пенсионного фонда Российской Федерации по Республике Тыва на 1 января 2018 г. в федеральном регистре состояло 22885 инвалидов (в 2017 году – 22673 инвалидов, в 2018г. – 22797 инвалидов), что составило 7,2 процента от общего населения Республики. Из них инвалидов первой группы 2703 чел. (0,8 процента от всего населения или 1,3 процента от всего взрослого населения), в 2017 году инвалиды 1 группы 2658 человек. Инвалиды второй группы составили 8794 чел., что составило 2,9 процента от всего населения Республики или 4,6 процента от взрослого населения (в 2015 году 9194 человек). Инвалиды третьей группы 8853 чел., что от всего населения – 2,7 процента и от взрос-

лого населения – 4,3 процента (в 2017 г. – 8628 человек). Дети-инвалиды 2516 ребенка, что от всего населения Республики составило 0,7 процента и от всего детского населения 2,0 процента (в 2018 г. – 2311 чел.). По доле в общей инвалидности республики – количество инвалидов первой группы составило 11,6 процента, второй группы – 40,3 процента, третьей – 37,8 процента, детей-инвалидов – 10,2 процента.

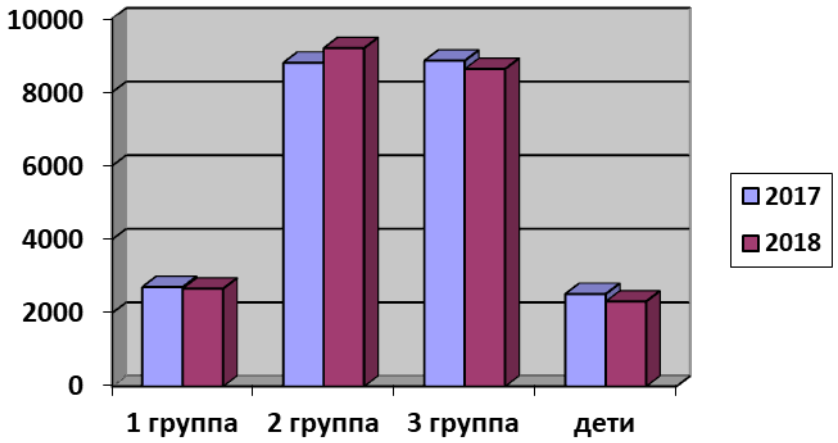

Рис. 1.2. Диаграмма количества инвалидов в Республике Тыва

Как видим из диаграммы, количество лиц с ОВЗ не сокращается, а некоторых случаях даже увеличивается. Доступная городская среда остается актуальной не только для тех, кто сам может перемещаться в пространстве. Необходимо уделять внимание всем, кто не может пользоваться общественным транспортом. Обновление сайтов для заказа такси, контроль за перевозчиками, которые оказывают данную услугу, поддержка в виде дотаций и других выплат могут привнести положительный эффект для них.

Для малых городов возможно внедрение комплексной оценки уровня обслуживания пассажиров, при котором учитываются все факторы, начиная с пешеходной доступности остановок и заканчивая уровнем обслуживания отдельных пассажирских предприятий и компаний. На территории Республики Тыва зарегистрировано 273 хозяйствующих субъекта, осуществляющих регулярные перевозки пассажиров [3].

В праздничные и выходные дни лица с ОВЗ некоторых микрорайонов не могут доехать до пункта назначения. Фирмы, функционирующие в рыночной экономике, формулируют политику в области качества таким образом, чтобы она касалась области деятельности каждого работника, а не только качества предлагаемых изделий или услуг [4]. При перемещении пассажиров в городском транспорте показатель качества представляет собой количественную характеристику одного из свойств, составляющих качество пассажирских перевозок, рассматриваемую применительно к определенным условиям их организации и осуществления [5].

Пассажиры в основном обслуживаются микроавтобусами, которые не соответствуют нормам и правилам перевозки. Среди наиболее значимых проблем отмечается отсутствие пандусов и поручней, слишком

узкие двери, препятствующие возможности получить транспортную услугу лицам с нарушениями опорно-двигательной системы, большой клиренс автобуса. Также отсутствуют пандусы на остановочных пунктах. До сих пор остаётся загадкой, как лица с ОВЗ попадут в салон автобуса, если нет пандусов. Не продуман вопрос по обеспечению лиц с ОВЗ информацией, необходимой для обеспечения беспрепятственного пользования ТС.

Автобусы в «северном исполнении» стоят довольно дорого, т.к. используются более дорогие материалы для теплоизоляции, ставятся более мощные обогревающие устройства в салон автобуса. Стоимость утепленных автобусов с пониженной платформой с кондиционером колеблется от 2 млн. 500 тыс. руб. и выше [6]. Не каждый мелкий оператор сможет обновить свой подвижной состав, учитывая то, что город не компенсирует перевозку социально-незащищенных слоев населения.

Перечисленные проблемы создают неудобства при пользовании лицами с ОВЗ услугами общественного пассажирского транспорта, что в целом делает данный вид перевозок не доступным для людей с ОВЗ [7]. Применение специализированного подвижного состава для обслуживания только лиц с ОВЗ, информирование граждан о такой услуге, четкое регулирование цены одной поездки, размещение контактов в сети интернет позволит решить многие проблемы. Не каждый может привезти или увезти своего родного человека, оказавшегося в трудной жизненной ситуации, для того, чтобы он получил необходимую помощь.

Власти города пытаются решать данные проблемы, но из-за нехватки финансовых ресурсов им приходится мириться с такими перевозчиками. Качество обслуживания пассажиров с ОВЗ находится на очень низком уровне, так как контроль со стороны Администрации города не производится.

Библиографический список

1. Горев, А. Э. Организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А. Э. Горев, Е. М. Олещенко. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006. – 256 с. – Текст : непосредственный.
2. Шавыраа, Ч. Д. Разработка методики организации обслуживания населения автобусным транспортом в малых городах : 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шавыраа Чечек Деспи-ооловна ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. - Санкт-Петербург, 2009. – 17 с. – Текст : непосредственный.
3. Хертек, Т. Р. Проблемы пассажирских перевозок в Республике Тыва / Т. Р. Хертек, Ч. Д. Шавыраа. – Текст : непосредственный // Техника и технология транспорта. - 2019. - № 5 (13). - С. 71.
4. Шавыраа, Ч. Д. Эстетический уровень обслуживания пассажиров в городах России / Ч. Д. Шавыраа– Текст : непосредственный // Вестник Тувинского государственного университета. №3

Технические и физико-математические науки. - 2012. - № 3 (14). - С. 46-49.

5. Шавыраа, Ч. Д. Результаты обследований пассажиропотоков в городе Кызыле Республики Тыва / Ч. Д. Шавыраа. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – Омск. - 2018. - Т. 15. № 5. - С. 718–724.
6. Шавыраа, Ч. Д. Разработка алгоритмов обновления подвижного состава в малом городе (на примереПАТП) / Ч. Д. Шавыраа, С. В. Балзанай. – Текст : непосредственный //
7. Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2019. - Т. 16. - № 1 (65). - С. 40-50.
8. Темякова, Т. В. Оказание услуг пассажирских перевозок общественным транспортом лицам с ОВЗ : региональный аспект / Т. В. Темякова. // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 44. – С. 52–56. – URL: http://e-koncept.ru/2017/570142.htm (дата обращения: 26.03.2020). – Текст : электронный.

References

1. Gorev A.E. Organizacija avtomobil'nyh perevozok i bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija: ucheb. posobie dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij [Organization of road transport and road safety: Textbook. Allowance for students of higher educational institutions]. Moscow, Academia Publ., 2006, 256 p. (In Russian)
2. Shavyraa Ch.D. Razrabotka metodiki organizacii obsluzhivanija naselenija avtobusnym transportom v malyh gorodah: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnicheskih nauk [Development of the methodology for organizing the service of the population by bus transport in small cities: Diss. Cand.Tech.Sci.]. Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Saint-Petersburg, 2009. (In Russian)
3. Khertek T.R, Shavyraa Ch.D. Problemy passazhirskih perevozok v Respublike Tyva [Problems of passenger traffic in the Republic of Tuva]. Technique and technology of transport. 2019, no. S (13), pp. 71. (In Russian)
4. Shavyraa Ch.D. Jesteticheskij uroven' obsluzhivanija passazhirov v gorodah Rossii [Aesthetic level of passenger service in Russian cities]. Vestnik of Tuvan State University, no.3. Technical Sciences. Physical and Mathematical Sciences. 2012, no. 3 (14), pp. 46-49. (In Russian)
5. Shavyraa Ch.D. Rezul'taty obsledovanij passazhiropotokov v gorode Kyzyle Respubliki Tyva [Results of passenger traffic surveys in the city of Kyzyl, Republic of Tuva]. Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii [Journal of the Siberian State Automobile and Highway Academy]. Omsk, 2018, vol. 15, no. 5, pp. 718–724. (In Russian)
6. Temyakova T. V. Razrabotka algoritmov obnovlenija podvizhnogo sostava v malom gorode (na primere PATP) [Provision of public transport services for people with disabilities: a regional aspect]. Scientific and methodological electronic journal “Concept”, 2017, vol. 44, pp. 52–56. Available at: http://e-koncept.ru/2017/570142.htm. (In Russian)

7. Shavyraa Ch.D., Balzanay S.V. Okazanie uslug passazhirskih perevozok obshhestvennym transportom licam s OVZ: regional'nyj aspect [Development of algorithms for updating rolling stock in a small city (for example, PATP)]. Nauchno-metodicheskij jelektronnyj zhurnal «Koncept» [Journal of the Siberian State Automobile and Highway University], 2019, vol. 16, no. 1 (65), pp. 40-50. (In Russian)

Шавыраа Чечек Деспи-ооловна, кандидат технических наук, доцент кафедры Транспортно-технологические средства Тувинского государственного университета, E-mail: Shavyraa@mail.ru

Chechek D. Shavyraa, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Transport and Technological Facilities, Tuvan State University, E-mail: Shavyraa@mail.ru

Дата поступления статьи в редакцию 13.02.2020

УДК 65.012.2:69
doi 10.24411/2077-6896-2020-10029

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ ДОЛГОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С ФОРМИРОВАНИЕМ ОПТИМАЛЬНОЙ ОЧЕРЕДИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Дадар А. Х., Самба Э. М.
Тувинский государственный университет, г. Кызыл

ANALYSIS OF MODERN APPROACHES TO LONG-TERM PLANNING WITH OPTIMAL QUEUING OF CONSTRUCTION WORKS

A. Kh. Dadar, E. M. Samba
Tuvan State University, Kyzyl

Формирование оптимальной очереди строительства при долгосрочном планировании является актуальной задачей строительного производства, поскольку по результатам данной оптимизации осуществляется регулирование хода комплексной застройки больших территорий, промышленных комплексов, что в конечном итоге определяет эффективность достижения намеченного срока сдачи объекта (комплексов) в эксплуатацию. Также при формировании очереди строительства должны быть учтены и относительные ограничения, показывающие, что строительству некоторого j-объекта должно предшествовать строительство i-объекта. В современной практике, ориентированной на решение подобного рода задач, используются различные методические подходы, но при этом результаты их решения характеризуются неоднородным качеством. Таким образом, для принятия обобщенного вывода, основанного на использовании различных результатов, необходим обобщающий анализ существующих методов и подходов прогнозирования сроков строительства. В статье рассматриваются методические особенности современных подходов и анализируются связанные с ними достоинства и недостатки, а также для более детального рассмотрения подобного рода вопросов и формирования новых подходов к их решению предлагается пример конкретного объекта разработки.
Ключевые слова: оптимальная очередь строительства; долгосрочное планирование; оптимизационное планирование

Forming the optimal queuing of construction works in long-term planning is a relevant task, since the given optimization forms the basis for adjusting the course of integrated development of large territories or industrial facilities, which, in the final analysis, determines the feasibility of meeting the deadline of project commissioning. Relative constraints showing that the construction of a certain j-facility is to be preceded by the construction of an i-facility must also be taken into account in queuing the construction activities. In modern-day practice geared towards the addressing of such challenges various methodological approaches are used, but the results of their application are characterized by impure quality. Thus, to make a generalized conclusion

based on the use of various results, a resumptive analysis of existing methods of and approaches to construction duration prognostication is needed. The article highlights the methodological specifics of contemporary approaches, reviewing some strengths and weaknesses related thereto. The authors also cite a case study of a specific construction project for a more thorough penetration into this kind of issues and for shaping new approaches to their solution.
Keywords: optimal queuing of construction activities; long-term planning; optimization planning

Оптимизационное планирование очереди строительства объектов является важной научной задачей. Одним из практических приложений решения этой задачи является долгосрочное планирование строительства зданий, необходимое при освоении больших территорий, предназначенных под городские поселения или промышленные комплексы. Как например, в настоящее время в жилищном строительстве Российской Федерации наметилась тенденция, связанная с планированием комплексной застройки территорий. В частности, об этом свидетельствуют действующие приоритетные проекты «Доступное и комфортное жилье», «Формирование комфортной городской среды» и «Обеспечение качества жилищно-коммунальных услуг», где главными требованиями являются обеспечение улучшения жилищных условий и качества городской среды, а также красивого и гармоничного внешнего вида города. Так, например, в республике Тыва разрабатывается проект Генерального плана (внесение коррективов в ныне действующий, принятый в 2011 году Генплан) столицы республики - города Кызыл с учетом стратегии социально-экономического развития республики и ее столицы до 2030 года. При этом учитывается, что население города к 2030 году будет насчитывать 140 тысяч человек (в 2019 году – 119 904 чел.). Данные коррективы вносятся в рамках «дорожной карты» по развитию многоэтажной комплексной застройки, разработанной по поручению Главы республики Шолбан Кара-оола [1]. В новом Генплане города на неосвоенных землях спроектированы микрорайоны «Бай-Хаакский», «Вавилинский затон» и «Горный» на территории «Шанхая» (место квартала ветхого жилья). Проект планировки многоэтажной комплексной застройки «Вавилинский затон» рассчитан на городскую территорию с 28-тысячным населением. На данное количество населения проект предусматривает строительство четырех школ и 12 детских садов, одной поликлиники, нескольких объектов культуры, таких как школа искусств, библиотека, трех спорткомплексов, одного пожарного депо. Помимо социально-экономических объектов в проекте отражена инженерная инфраструктура: транспортная сеть, электро- водо- и теплосети. И если учесть, что количество вышеперечисленных объектов свыше 20, не считая жилых домов для 28-тысячного населения и инженерной инфраструктуры, то встает задача определения очередности возведения отдельных зданий [2]. Другим примером долгосрочного планирования является созданное в соответствии с Федеральным законом от 25 декабря 2012 года №271-ФЗ «О внесении изменений в Жилищный Кодекс Российской

Федерации и от-дельные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации» в начале 2014 года в Туве Республиканский фонд капитального ремонта многоквартирных домов. Деятельностью Фонда является разработка и периодическая корректировка региональной адресной программы капитального ремонта, рассчитанную на 30 лет. В эту программу в обязательном порядке входят все многоквартирные дома г. Кызыла и других городов Тувы, достигших своего предельного состояния по физическому и моральному износу. Одной из причин, определяющей сложность решения подобных задач является использование разнообразных оптимизационных критериев, которые в совокупности определяют мультикритериальность поставленной задачи [3]. Другим сложным вопросом в долгосрочном планировании строительства и реконструкции объектов является учет различных организационных ограничений, которые в будущем могут существенно меняться, создавая неопределенность параметров задачи, определяемой термином риск [4]. Вычислительная сложность задач, связанных с поиском оптимальной очереди строительства объектов, характеризуется специальным термином *NP*- трудные задачи. Семантика этого термина сводится к тому, что для данных задач вплоть до сегодняшнего дня нет алгоритмов с полиномиальным вычислительным временем их решения [5]. Таким образом, можно резюмировать, что задачи поиска оптимальных очередностей строительства объектов являются сложными ввиду их многокритериальности, ввиду их вычислительной трудности, а также по причине разнородных ограничений и неопределенного изменения их параметров во времени.

Известно, что большинство проектов долгосрочного планирования строящихся объектов разрабатывается на принципах организации поточного строительства [6, 7], а соответствующий процесс оптимизации осуществляется по разным критериям, например, по минимуму общей продолжительности [8], по ресурсным показателям [9], по минимуму задержек работ [10] и т.д. Очень часто в подобных задачах требуется проведение оптимизации по достаточно сложному критерию, например определяющему эффективность запланированного денежного потока, связанного со строительством [11].

Проанализируем современные подходы, связанные с особенностями роста неопределенности во времени при долгосрочном прогнозировании, частным случаем которого как раз и является формирование оптимальной очереди строительства. В научно-информационном пространстве имеются работы, которые рассматривают прогнозы изменений во времени характеристик различных объектов. Например, в работе [12], проанализирован рост уровня риска инновационного процесса во времени и сделан вывод: «Радикальные нововведения представляют собой нелинейный, стохастический и непрерывный процесс с непредсказуемыми последствиями, рассчитанный в среднем на 10 лет». Таким образом, авторами утверждается гипотеза о непредсказуемости некоторых прогнозируемых последствий. Более оп-

тимистично ставится аналогичный вопрос в работе [13], в которой утверждается правомерность приближенного прогнозирования, как базы для оценки отклонений для продолжительных интервалов времени. В работе [14] представлен анализ современных тенденций научно-технического прогресса в связи с понятием «горизонт планирования», как чисто временного параметра. Количественный аспект учета неопределенности во времени рассмотрен в работе [15], в которой обоснована модель пространственно-временной аналогии, позволяющая количественно оценивать рост несвоевременности выполнения работ во времени.

Вычислительная трудность задач поиска оптимальных очередностей строительства объективно связана с видом применяемой целевой функции. Например, для решения классической задачи по минимизации общего времени обработки *n* деталей на 2-х станках С.М. Джонсон нашел алгоритм с полиномиальным временем вычисления [16]. Однако если заменить целевую функцию расчетом критерия, связанного с запаздыванием относительно ограничений на окончания работ, то задача превращается в *NP*-трудную [17]. Более того, имеются достаточно веские аргументы, что к некоторым задачам ввиду их сложности вообще не применимы точные алгоритмы, основанные на методе динамического программирования [18] и методе ветвей и границ [19]. В результате для точного решения подобных задач пригоден только метод, основанный на полном переборе всех вариантов очереди строительства объектов.

Однако установлено, что для ряда задач, из-за их большой размерности, полный перебор невозможен, и тогда для решения таких задач поиска оптимальной очереди строительства используют алгоритмы, построенные на разных эвристиках и метаэвристиках, обзор которых представлен в работе [10]. В последнее время получили развитие эволюционные [20], генетические [21] и гибридные алгоритмы. В работе [22] представлены блок-схемы всех трех алгоритмов и раскрыто существо разработанного авторами гибридного алгоритма на примере минимизации условной стоимости варианта, связанного с перестановкой строительных объектов.

Кратко рассмотрим общие характеристики представленных в работе [22] алгоритмов. На старте всех трех алгоритмов формируется множество решений *S*, которое определено как случайная популяция. В генетическом и эволюционном алгоритме над полученной популяцией производится селекция, которая в гибридном алгоритме названа процедурой локальной оптимизации. За этапом отбора следует процедура, направленная на дальнейшее улучшение вариантов. При этом, в первых двух алгоритмах данная процедура определена как скрещивание, а в гибридном алгоритме она названа изменением. Далее следует процедура локального случайного изменения, получившая название мутации, после чего цикл заканчивается созданием новой популяции той же мощности, что и начальная популяция *S*. Описанный выше цикл повторяется до момента выполнения одного из двух заданных условий, связанных с ограничением либо числа расчетных итераций, либо с ограничением суммарно-

го времени оптимизационных вычислений.

Можно отметить, что в описаниях данных алгоритмов имеют место достаточно существенные неопределенности. В частности, не ясно, какой должна быть мощность начальной популяции, и как учесть влияние различных ограничений на построение очереди строительства. Также не ясно, как будет меняться эффективность оптимизации для объектов разных классов (промышленные комплексы, жилые здания, общественные здания и т.п.), как фактор долгосрочной неопределенности повлияет на формирование оптимальной очереди объектов, и как будет меняться эффективность оптимизации в зависимости от изменения применяемого критерия.

Для дальнейшего более детального рассмотрения подобного рода вопросов и формирования новых подходов к их решению определим пример конкретного объекта разработки.

В качестве объекта, на который ориентирована предлагаемая разработка, может быть использована нормативная статистики продолжительностей строительства, массив которой для РФ представлен в [23]. Полезность использования данной статистики заключается в том, что она определяет генеральную совокупность из N объектов, по каждому из которых задана нормативная продолжительность. Из множества нормативно определенных объектов может быть сформирована любая очередь строительства из n объектов. В результате на основе нормативной статистики можно создавать различные выборки, определяющие всевозможные сочетания поточной организации работ в соответствии с формулой

$$\sum_{n=1}^{N} C_N^n = \sum_{n=1}^{N} \frac{N!}{n!\cdot(N-n)!}. \quad (1)$$

При общем числе объектов, определяемых сотнями, и выборе очереди из десятка и более объектов число сочетаний C_N^n представляет собой огромное число. Но, несмотря на это, принципиально важным является то, что через принятую нормативную статистику может быть зафиксирована генеральная совокупность объектов, и именно для нее могут быть актуализированы параметры эффективности того или иного разработанного алгоритма.

Предположим, что каждый i-й объект, включаемый в искомую очередь, состоящую из n объектов, характеризуется следующими параметрами: продолжительность строительства объекта, определенное его календарным планом, обозначим литерой t_i, начало работы на объекте обозначим как s_i, а соответствующее окончание работы обозначим литерой f_i. Отметим, что в общем случае на начало и окончание работы на i-м объекте могут быть наложены ограничения. Поэтому принимаем, что на срок начала работы будет действовать ограничение типа «Начать не ранее» $s_i > [S_i]$, а на срок окончания работ на объекте будет действовать ограничение типа «Окончить не позднее» $f_i < [F_i]$.

При формировании последовательности строительства объектов с учетом поточной организации работ (*flow shop*) необходимо определить показатель совмещения работ, который, в частности, может быть выражен через продолжительность не совмещаемой части работы a_i и совмещаемой части работы b_i, так что $a_i + b_i = t_i$. Совмещаемая часть работы показывает такой лаг времени, на

который отстоит начало работы на последующем объекте. Принятая в представленной постановке задачи модель, описывающая объекты очереди строительства, является достаточно универсальной и хорошо адаптируемой к возможностям компьютерных программах управления проектами типа *Microsoft Project*. В частности, в этих программах любой объект, включенный в очередь строительства, может иметь сколь угодно сложную структуру расписания работ, определяемую вложенными файлами.

В формируемой очереди строительства при определении конкретного места k_i любого *i*-го объекта может быть установлен диапазон, определяющий его возможные абсолютные места в очереди. Например, трансформаторная подстанция должна обязательно занять место в общей очереди строительства, определяемое диапазоном ($1 \le k_i \le 4$), поскольку это необходимо, чтобы объекты, построенные в более позднее время, не остались без электроснабжения. Также при формировании очереди строительства должны быть учтены и относительные ограничения, показывающее, что строительству некоторого j -го объекта должно предшествовать строительство i -го объекта ($k_i<k_j$). Например, строительству школы k_j обязательно должно предшествовать строительство жилого здания k_i.

Таким образом, оптимизационное планирование очереди строительства объектов необходимо для долгосрочного планирования, однако поиск оптимальной очереди связан с большой вычислительной сложностью задачи. Для получения эффективного решения предлагается использовать свойство редукции допустимых вариантов, связанное с использованием организационных ограничений и латентных внутренних закономерностей расписаний, а также с анализом вариабельности целевой функции. Редукция решений для большеразмерных задач выявляется статистическим анализом на начальном этапе оптимизации, затем для оптимизации используются регрессионные матрицы.

Библиографический список

1. Официальный портал республики Тыва. – URL: http://gov.tuva.ru/press_center/news/building/38779/. – Текст : электронный.
2. Официальный сайт города Кызыл. – URL: http://www.mkyzyl.ru/ – Текст : электрон-ный.
3. Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Vilutiene, T. 2010a. Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method, Archives of Civil and Mechanical Engineering 10(3): 123–141. http://dx.doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60141-1
4. Zavadskas E.K., Turskis Z., Tamošaitien J. Risk Assessment of Construction Projects // Journal of Civil Engineering and Management. 2010. №16(1). Pp. 33-46.
5. Sarker, B. R.; Egbelu, P. J.; Liao, T. W.; Yu, J. 2012. Planning and design models for con-struction industry: A critical survey, Automation in Construction 22: 123–134. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2011.09.011
6. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. – Ленинград, Стройиз-

дат, 1990. 160с.

7. Z. Hejducki, J. Mrozowicz, Stream methods of construction work organisation: an introduc-tion to the problem, Eng., Constr. Archit. Manag., Emerald Publ. 8 (2) (2001) 80–89.
8. Дадар А.Х. Развитие методологии сравнения методов организации работ по мини-муму дополнительных затрат : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.08 / Дадар Алдын-кыс Хунаевна; [Место защиты: СПб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. – Санкт-Петербург, 2000. – 120 с. : ил.
9. El-Rayes, K.; Moselhi, O. 2001. Optimum resource utilization for repetitive construction projects, Journal of Construction Engineering and Management ASCE 127(1): 18–27. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2001)127:1(18)
10. Vallada, E.; Ruiz, R.; Minella, G. 2008. Minimizing total tardiness in the m-machine flow-shop problem: A review and evaluotion of heuristics and metaheuristics, Computers & Operations Research 35(4): 1350–1373. http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2006.08.016
11. Jiang, A.; Issa, R. R. A.; Malek, M. 2011. Construction project cash flow planning using the Pareto optimality efficiency network model, Journal of Civil Engineering and Management 17(4): 510–519. http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2011.604537
12. Шестакова И.Г. Анализ современных тенденций научно-технического прогресса и го-ризонты планирования. Экономика и экологический менеджмент. 2013, №1. СС. 67-82.
13. Шамина Л.К. Петров Д.Н. Динамика риска ошибочного выбора инновационного про-екта // Альманах современной науки и образования. Тамбов, №9(28), 2009.
14. Харин А.А. Принцип неопределенного будущего, примеры его применения в эконо-мической теории, возможности его применения в теориях сложных систем, в теории множеств, теории вероятностей и логике. Моделирование и Анализ Безопасности и Риска в Сложных Системах: Труды Международной Научной Школы МАБР, 2007.
15. Болотин С.А., Дадар А.Х., Котовская М.А. Модель пространственно-временной анало-гии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов // Инженерно-строительный журнал, №7, 2013, СС. 51-57. Http: www.engstroy.spb.ru
16. Johnson, S. M. 1954. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included, Naval Research Logistics Querterly 1(1): 61–68. http://dx.doi.org/10.1002/nav.3800010110
17. Lenstra, J. K.; Rinnoy Kann, A. H. G.; Brucker, P. 1977. Complexity of machine scheduling problems, Annals of Discrete Mathematics 1: 343–362. http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5060(08)70743-X
18. Senouci, A. B.; Eldin N. N. 1996. Dynamic programming approach to scheduling of nonseri-al linear project, Journal of Computing in Civil Engineering ASCE 10(2): 106–114. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1996)10: 2(106)
19. Hariri, A. M. A.; Potts, C. N. 1989. A branch and bound algorithm to minimize

the number of late jobs in a permutation flow-shop, European Journal of Operational Research 38(2): 227. http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(89)90107-0

20. Onwubolu, G.; Davendra, D. 2006. Scheduling flow shop using differential evolution algo-rithm, European Journal of Operational Research 171(2): 674–692. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2004.08.043
21. Rogalska, M.; Bożejko, W.; Hejducki, Z., Application of genetic algorithms in controlling the level of employment, 51st Scientific Conference of Committee of Water and Ground Re-source Management of the Polish Academy of Sciences (KILiW PAN) and Science Commit-tee of Polish Engineers and Technicians Construction Association (PZITB), Gdańsk-Krynica, Poland, 2005, pp. 185–192.
22. Rogalska, M.; Bożejko, W.; Hejducki, Z. 2008. Time/cost optimization using hybrid evolu-tionary algorithm in constructionproject scheduling, Automation in Construction 18(2008): 24-31. www.elsevier.com/locate/autcon
23. Нормативы продолжительности строительства. Утверждены приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 746.

References

1. Oficialnyj portal respubliki Tyva [Official web-portal of the Republic of Tuva]. Availabla at: http://gov.tuva.ru/press_center/news/building/38779/ (In Russian)
2. Oficial'nyj sajt goroda Kyzyl [Official web-site of the city of Kyzyl]. Available at: http://www.mkyzyl.ru/ (In Russian)
3. Zavadskas E. K., Turskis Z., Vilutiene T. Multiple criteria analysis of foundation instalment alternatives by applying Additive Ratio Assessment (ARAS) method, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2010, no. 10(3), pp. 123–141. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60141-1
4. Zavadskas E.K., Turskis Z., Tamošaitien J. Risk Assessment of Construction Projects. Journal of Civil Engineering and Management, 2010, no.16(1), pp. 33-46.
5. Sarker B. R., Egbelu P. J., Liao T. W., Yu J. Planning and design models for construction in-dustry: A critical survey, Automation in Construction. 2012, no. 22, pp. 123–134. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2011.09.011
6. Afanasiev V. A. Potochnaja organizacija stroitel'stva [Stream scheduling of works in civil engineering]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1990, 160 p. (In Russian)
7. Z. Hejducki, J. Mrozowicz, Stream methods of construction work organisation: an introduc-tion to the problem, Eng., Constr. Archit. Manag., Emerald Publ. 8 (2) (2001) 80–89.
8. Dadar A.Kh. Razvitie metodologii sravnenija metodov organizacii rabot po mini-mumu dopolnitel'nyh zatrat : dissertacija ... kandidata tehnicheskih nauk [Development of a methodology for comparing methods of organizing work to a minimum of additional costs: Diss.Cand. Tech. Sci.]. Saint-Petersburg State University of Architecture and Construction, Saint-Petersburg, 2000, 120 p. (In Russian)
9. El-Rayes K., Moselhi O.. Optimum resource

utilization for repetitive construction projects, Journal of Construction Engineering and Management ASCE, 2001, no. 127(1), pp. 18–27. Available at: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2001) 127:1(18)

10. Vallada E., Ruiz R., Minella G.. Minimizing total tardiness in the m-machine flowshop prob-lem: A review and evaluotion of heuristics and metaheuristics, Computers & Operations Re-search 2008, no. 35(4), pp. 1350–1373. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2006.08.016
11. Jiang A., Issa R. R. A., Malek M. Construction project cash flow planning using the Pareto optimality efficiency network model, Journal of Civil Engineering and Management, 2011, no. 17(4), pp. 510–519. Available at: http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2011.604537
12. Shestakova I.G. Analiz sovremennyh tendencij nauchno-tehnicheskogo progressa i gorizonty planirovanija [Analysis of current trends in scientific and technological progress and plan-ning horizons]. Jekonomika i jekologicheskij menedzhment [Economics and Econimical Management]. 2013, no.1, pp. 67-82. (In Russian)
13. Shamina L.K., Petrov D.N. Dinamika riska oshibochnogo vybora innovacionnogo proekta [Shamina L.K. Petrov D.N. Risk dynamics of the erroneous choice of an innovative project]. Al'manah sovremennoj nauki i obrazovanija [Almanac of modern science and education]. Tambov, no. 9(28), 2009. (In Russian)
14. Kharin A.A. Princip neopredelennogo budushhego, primery ego primenenija v jekonomich-eskoj teorii, vozmozhnosti ego primenenija v teorijah slozhnyh sistem, v teorii mnozhestv, teorii verojatnostej i logike. Modelirovanie i Analiz Bezopasnosti i Riska v Slozhnyh Sistemah [The principle of an uncertain future, examples of its application in economic theory, the possibility of its application in theories of complex systems, in set theory, probability theory and logic. Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems]. Trudy Mezhdunarodnoj Nauchnoj Shkoly MABR [Works of the International Scientific School of IADB], 2007. (In Russian)
15. Bolotin S.A., Dadar A.H., Kotovskaja M.A. Model' prostranstvenno-vremennoj analogii v optimizacii posledovatel'nosti rekonstruiruemyh ob#ektov [The model of the spatio-temporal analogy in optimizing the sequence of reconstructed objects]. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal [Engineering and Construction Journal], no. 7, 2013, pp. 51-57. Available at: http: www.engstroy.spb.ru (In Russian)
16. Johnson S. M. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included, Naval Research Logistics Querterly, 1954, no. 1(1), pp. 61–68. Available at: http://dx.doi.org/10.1002/nav.3800010110
17. Lenstra J. K.; Rinnoy Kann A. H. G.; Brucker, P.. Complexity of machine scheduling prob-lems, Annals of Discrete Mathematics, 1977, no. 1, pp. 343–362. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/S0167-5060(08)70743-X
18. Senouci A. B.; Eldin N. N. Dynamic programming approach to scheduling

of nonserial linear project, Journal of Computing in Civil Engineering ASCE, 1996, no. 10(2), pp. 106–114. Available at: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1996)10: 2(106)

19. Hariri A. M. A.; Potts C. N. A branch and bound algorithm to minimize the number of late jobs in a permutation flow-shop, European Journal of Operational Research, 1989, no. 38(2), pp. 227. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(89)90107-0
20. Onwubolu G., Davendra D. Scheduling flow shop using differential evolution algorithm, Eu-ropean Journal of Operational Research, 2006, no. 171(2), pp. 674–692. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2004.08.043
21. Rogalska M., Bożejko W., Hejducki Z. Application of genetic algorithms in controlling the level of employment, 51st Scientific Conference of Committee of Water and Ground Re-source Management of the Polish Academy of Sciences (KILiW PAN) and Science Commit-tee of Polish Engineers and Technicians Construction Association (PZITB), Gdańsk-Krynica, Poland, 2005, pp. 185–192.
22. Rogalska M.; Bożejko W.; Hejducki Z. Time/cost optimization using hybrid evolutionary al-gorithm in constructionproject scheduling, Automation in Construction, 2008, no. 18(2008), pp. 24-31. Available at: www.elsevier.com/locate/autcon
23. Normativy prodolzhitel'nosti stroitel'stva: utverzhdeny prikazom Ministerstva regional'nogo razvitija RF 21.12.2010 №746 [Standards for the duration of construction: approved by order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation on December 21, 2010 No. 746]. (In Russian)

Дадар Алдын-кыс Хунаевна, кандидат технических наук, доцент, Тувинский государственный университет, г. Кызыл, e-mail: daryi@mail.ru

Самба Эзир-оол Май-оолович, магистрант 2 курса направления подготовки «Строи-тельство» программы «Энергосбережение и энергоэффективность в зданиях», Тувинский государственный университет, г. Кызыл

Aldyn-kys Kh. Dadar, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Tuvan State University, Kyzyl, e-mail: daryi@mail.ru

Ezir-ool M. Samba, undergraduate, training program of “Construction”, “Energy Saving and Energy Efficiency in Buildings”, Tuvan State University.

Дата поступления статьи в редакцию 17.02.2020

12+

Научное издание

ВЕСТНИК
ТУВИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 3. Технические и физико-математические науки
№ 1 (58), 2020

Учредитель ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»

Дата выхода 31.03.2020
Адрес редакции: 667000, Республика Тыва, г. Кызыл, Ленина, 36, каб. 105
Адрес типографии: 667000, Республика Тыва, г. Кызыл, Ленина, 36
Адрес издателя: 667000, Республика Тыва, г. Кызыл, Ленина, 36

Свидетельство о регистрации СМИ выдано Роскомнадзором ПИ
№ ФС77-49206 от 30 марта 2012 г.
Индекс в каталогах Роспечати 66075

Главный редактор Е.Д. Монгуш
Редактор А.Р. Норбу
Дизайн обложки К.К. Сарыглар

Статьи, опубликованные в журнале, являются оригинальными авторскими материалами, полное или частичное воспроизведение, тиражирование и распространение которых исключается без письменного разрешения редакции.
Ответственность за соблюдение законов об интеллектуальной собственности, а также за точность и достоверность сведений, приводимых в публикуемых материалах, несут авторы.

Периодичность выхода журнала – 4 раза в год
(в первом полугодии выходят 2 номера, во втором – 2 номера).

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве ТувГУ

Подписано в печать: 28.03.2020.
Формат бумаги 60×84 $^{1}/_{8}$. Бумага офсетная.
Физ. печ. л. 10,4. Заказ № 1571/3. Тираж 100 экз.
Цена свободная

667000, Республика Тыва, г. Кызыл, Ленина, 36
Тувинский государственный университет
Издательство ТувГУ