



# ВЕСТНИК

ТУВИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

№ 1 (5), 2024 г.

# VESTNIK

OF TUVAN STATE UNIVERSITY

**TECHNICAL SCIENCES**





**ВЕСТНИК****ТУВИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА.****ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ****№ 1 (5), 2024**

**Редакционная коллегия журнала «Вестник Тувинского государственного университета. Технические науки»:** *О.М. Хомушку*, доктор философских наук, ректор Тувинского госуниверситета (**председатель редакционной коллегии**) (г. Кызыл, Россия); *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); *С.А. Евтюков*, доктор технических наук, профессор кафедры наземных транспортно-технологических машин Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (г. Санкт-Петербург, Россия); *А.А. Чылбак*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Горное дело» Тувинского госуниверситета (г. Кызыл, Россия)

**Главный редактор** – *А.А. Чылбак*, кандидат технических наук, доцент

*Учредитель ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»*

*Свидетельство о регистрации СМИ выдано Роскомнадзором*

*ПИ № ФС77-85270 от 27 апреля 2023 г.*

*Индекс в каталогах Роспечати 66075.*

ISSN 2077-6896



**VESTNIK  
OF TUVAN STATE UNIVERSITY.**

**Technical Sciences**

**№. 1 (5), 2024**

**Editorial board of “Vestnik of Tuvan State University. Technical Sciences”:** *O.M. Khomushku*, Doctor of Philosophical Sciences, Rector of Tuvan State University (**Chairman of the Editorial Board**) (Kyzyl, Russia); *S.A. Bolotin*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Organization, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Saint-Petersburg, 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, Department of Industrial and Civil Construction, Tuvan State University (Kyzyl, Russia); *V.M. Loginov*, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Physics and Methods of Teaching in Physics, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev (Krasnoyarsk, Russia); *S.A. Evtjukov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Ground Transport and Technological Machines, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

(Saint-Petersburg, Russia); *A.A. Chylbak*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mining, Tuvan State University (Kyzyl, Russia)

**Editor-in-Chief** – *A.A. Chylbak*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

*Founder and Publisher of the Journal is Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Tuvan State University”.*

*The Journal is registered by the Federal service for supervision of communications, information technologies and mass communications (Roskomnadzor) III № ФС77-85270 as of April 27, 2023.*

*The subscription index in the catalogue of Federal Agency for Press and Mass Communications (Rospechat) is 66075*

## **УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

**Научный журнал «Вестник Тувинского государственного университета. Технические науки»** принимает материалы для публикации в 2024 году. Принимаются статьи по техническим наукам.

Журнал «Вестник ТувГУ», издававшийся Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Тувинский государственный университет» с 2009 года, с 2023 года выходит в новом формате: для совершенствования качества публикуемых материалов было решено сузить и конкретизировать предметные области, перерегистрировать выпуски «Вестника ТувГУ» в четыре отдельных журнала с получением на них новых свидетельств с соответствующими наименованиями:

- журнал «Вестник ТувГУ. Технические науки»;
- журнал «Вестник ТувГУ. Естественные и сельскохозяйственные науки»;
- журнал «Вестник ТувГУ. Социально-гуманитарные науки»;
- журнал «Вестник ТувГУ. Педагогические науки».

### **Политика свободного доступа**

Журнал обеспечивает мгновенный открытый доступ к своему контенту, исходя из принципа, согласно которому обеспечение свободного доступа общественности к исследованиям способствует более широкому глобальному обмену знаниями.

Статьи Журнала лицензируются в соответствии с Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0), лицензией, которая позволяет пользователям читать, копировать, распространять и делать производные работы для некоммерческих целей из материала, если оригинальная работа автора цитируется должным образом.

Статьи и материалы для публикации просим направлять **по электронному адресу:** [vestnik\\_tuvsu\\_tech@mail.ru](mailto:vestnik_tuvsu_tech@mail.ru) (Донгак Чечена Борисовна – технический секретарь).

С материалами журнала «Вестник ТувГУ» можно ознакомиться на официальном сайте <http://vestnik.tuvsu.ru/>

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

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Анай-оол А.В., Саая С.С.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ.....	6-18
<i>А-Х.Б. Калдар-оол, А-Х.Х. Монгуш, А.К. Монгуш</i> СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА РЕБРИСТОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ.....	19-34
<i>Эренчин А.О., Опбул Э.К.</i> НОВЫЙ ПОДХОД К РАСЧЁТУ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	35-47
<i>Сандан Н.Т., Евтюков С.А.</i> РЕЖИМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ-САМОСВАЛОВ SCANIA, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА.....	48-58
<i>Орловский С.Н., Долматов С.Н., Саая С.Ш.</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРАНСМИССИЙ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН С БАРОВЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ.....	59-78

## CONTENTS

<i>A.V. Anay-ool, S.S. Saaya</i> INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF RESIDENTIAL BUILDINGS.....	6-18
<i>A-Kh.B. Kaldar-ool, A-Kh. Kh. Mongush, A.K. Mongush</i> COMPARISON OF THE RESULTS OF VERIFICATION CALCULATIONS OF THE RIBBED FLOOR SLAB.....	19-34
<i>A.O. Erenchin, E.K. Opbul</i> A NEW APPROACH TO CALCULATING THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER OPERATION.....	35-47
<i>N.T. Sandan, S.A. Evtyukov</i> MAINTENANCE MODE OF SCANIA DUMP TRUCKS OPERATING IN THE REPUBLIC OF TUVA.....	48-58
<i>S.N. Orlovskiy, S.N. Dolmatov, S.Sh. Saaya</i> METHODOLOGY FOR ASSESSING THE DYNAMIC PROPERTIES OF TRANSMISSIONS OF FORESTRY MACHINES WITH A BAR WORKING BODY.....	59-78

УДК 332.8

doi 10.24411/2221-0458-2024-06-18

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

*Анай-оол А.В., Саая С.С.*

*Тувинский государственный университет, г. Кызыл*

## **INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF RESIDENTIAL BUILDINGS**

*A.V. Anay-ool, S.S. Saaya*

*Tuvan State University, Kyzyl*

В статье раскрыта проблема энергосбережения и энергоэффективности зданий с учетом природно-климатических и социально-экономических условий Республики Тыва. Данная проблема зависит от многих факторов и включает в себя несколько способов снижения потребления энергоресурсов в системах теплоснабжения и вентиляции: архитектурно-планировочные и конструктивные решения зданий, использование возобновляемых источников энергии, оптимизация систем обеспечения микроклимата. Приведены примеры отечественного опыта проектирования и строительства энергоэффективных зданий и применения возобновляемых источников энергии, а также методов оптимизации систем обеспечения микроклимата зданий. Рассмотрен комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности зданий посредством комплекса архитектурно-планировочных и конструктивных решений, наиболее подходящих для природно-климатических условий республики. Обоснована необходимость учета объемно-планировочных решений традиционных жилищ при выборе формы жилых зданий на этапе проектирования и использование современных строительных и теплоизоляционных материалов для наружных ограждающих конструкций.

Ключевые слова: энергоэффективность; энергосбережение; теплотери; энергоресурсы; ограждающая конструкция

In this article the problem of energy saving and energy efficiency of buildings in the climatic and socio-economic conditions of the Republic of Tuva is reviewed. This problem depends on numerous factors and includes several ways to reduce energy consumption in heat supply and

ventilation systems: architectural planning and constructive solutions for buildings, the use of renewable energy sources, optimization of microclimate systems. A set of measures to improve the energy efficiency of buildings by means of a complex of architectural, planning and constructive solutions, most suitable for the natural and climatic conditions of the republic, is considered. It is important to take into account the space-planning solutions of traditional dwellings when choosing the shape of residential buildings at the design stage and use modern building and thermal insulation materials for external enclosing structures.

Keywords: energy efficiency; energy saving; heat loss; energy consumption; building envelope

Под энергоэффективностью в строительстве подразумевают достижение рационального использования энергетических ресурсов. Получение максимальной энергоэффективности зданий достигается за счёт снижения теплопотерь и потребляемой зданиями тепловой энергии, необходимой для поддержания в помещениях требуемых параметров микроклимата при соответствующем технико-экономическом обосновании внедряемых мероприятий и обеспечении безопасности. Отсюда следует, что понятие энергоэффективности неразрывно связано с вопросами энергосбережения.

Проблема энергосбережения с каждым годом становится все более актуальной. В «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» вопросы энергосбережения и энергоэффективности рассматриваются как одни из основных [1]. Ограниченность энергоресурсов, высокая стоимость энергии, негативное воздействие

на окружающую среду – все эти факторы требуют от нас снижения потребления энергии, нежели постоянного увеличения ее производства.

«Отопление и электроснабжение жилых, общественных и производственных зданий в Российской Федерации обходятся очень дорого. Ежегодно расходуется до 560 млн. т. условного топлива, что составляет примерно 35 % потребляемых в стране энергетических ресурсов. Непроизводительные потери в установках генерации, транспорта, распределения тепла, в системах освещения достигает 30%» [2].

«В настоящее время в развитых странах Европейского союза перспективным направлением является проектирование и строительство энергоэффективных зданий или, так называемое «зеленое строительство». Зеленое строительство – метод проектирования, строительства и эксплуатации зданий, целью которого

является снижение энерго- и ресурсопотребления зданий и сооружений при сохранении или повышении комфортных условий микроклимата. К задачам, решаемым посредством зеленого строительства, относятся уменьшение негативного воздействия на окружающую среду; сокращение потребления природных ресурсов в процессе эксплуатации зданий; повышение энергетической эффективности зданий и сооружений» [3].

Европейская классификация жилых зданий по энергоэффективности представлена несколькими типами (см. рисунок 1). Кроме представленных на рисунке 1 энергоэффективных зданий, существует такой тип жилого здания, который вырабатывает больше энергии, чем потребляет — так называемый «дом плюсовой энергии».



Рис. 1. Классификация зданий по уровню годового потребления энергии [3]

В Российской Федерации проектирование, строительство и реконструкция зданий регламентируется требованиями СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [4]. СП 50.13330.2012

направлен на снижение энергозатрат на теплоснабжение и вентиляцию жилых зданий и дает следующую классификацию энергосбережения (см. Таблица 1.)

Таблица 1 - Классы энергосбережения жилых и общественных зданий в зависимости от величины отклонения расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого [5]

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %
A++	Очень высокий	Ниже -60
A+		От -50 до -60 включительно
A		От -40 до -50 включительно
B+	Высокий	От -30 до -40 включительно
B		От -15 до -30 включительно
C+	Нормальный	От -5 до -15 включительно
C		От +5 до -5 включительно
C-		От +15 до +5 включительно
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно
E	Низкий	Более +50

Согласно требованиям СП 50.13330.2012, «не допускается проектирование зданий с классом энергосбережения «D» и «E»» [4]. Однако большинство эксплуатируемых жилых зданий в Республике Тыва были построены по требованиям действующих на тот момент нормативных документов, которые не отвечают в полной мере действующим сегодня нормам, поэтому для повышения их энергоэффективности, необходима реконструкция. В настоящее время в нашей стране практически отсутствует такое направление, как «зеленое строительство», развитое в европейских странах. Это объясняется суровыми климатическими условиями в Республике Тыва и значительной части России. «На

сегодняшний день разработаны несколько проектов экспериментальных энергоэффективных жилых домов – энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2 в Москве, энергоэффективное здание «Экодом Solar-5 во Владивостоке, энергоэффективный дом в Санкт-Петербурге» [3].

Особую востребованность в энергоэффективных зданиях имеет Республика Тыва в связи со сложившимися факторами:

- резко-континентальный климат (средняя температура зимой от -28 до -35, летом от +18 до +28);

- высокие цены на энергоресурсы (тепловая энергия ТЭЦ, уголь, электроэнергия);

- отсутствие дополнительных мощностей в ТЭЦ;

- высокий уровень загрязнения воздуха в отопительный период (происходит от использования углеводородных ресурсов в качестве топки частным сектором);

- отсутствие альтернативного топлива.

Для увеличения класса энергосбережения строящихся и реконструируемых жилых зданий и снижения потребления энергоресурсов в системах жизнеобеспечения в основном применяются следующие мероприятия:

- улучшение архитектурно-планировочных и конструктивных решений;

- использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ);

- оптимизация систем обеспечения микроклимата зданий.

**Архитектурно-планировочные и конструктивные решения.** Актуальной на сегодня задачей является экономия энергоресурсов, и, соответственно, снижение энергопотребления жилыми зданиями.

«Теплопотери в холодный период года, в первую очередь, связаны с архитектурно-планировочными и конструктивными решениями ограждающих конструкций зданий, а именно теплозащитными свойствами строительных материалов, из которых возведены ограждающие конструкции. Теплопотери в холодный период года, связанные с архитектурно-планировочными характеристиками здания, можно существенно снизить пассивными способами: правильной ориентацией зданий с учетом рельефа местности, сторон света, направлением ветров, выбором формы здания» [3]. При выборе формы жилого здания будет полезно изучить объемно-планировочные решения традиционных жилищ (юрты и чума), т.к. один из основных показателей энергоэффективности – показатель компактности имеет низкое значение (см. рисунок 2) [5]. Из графика видно, что показатель компактности традиционного жилища меньше 1 при примерно одинаковом строительном объеме зданий компактной формы с плавным очертанием. Из этого следует, что традиционное жилище характеризуется невысокими теплопотерями.

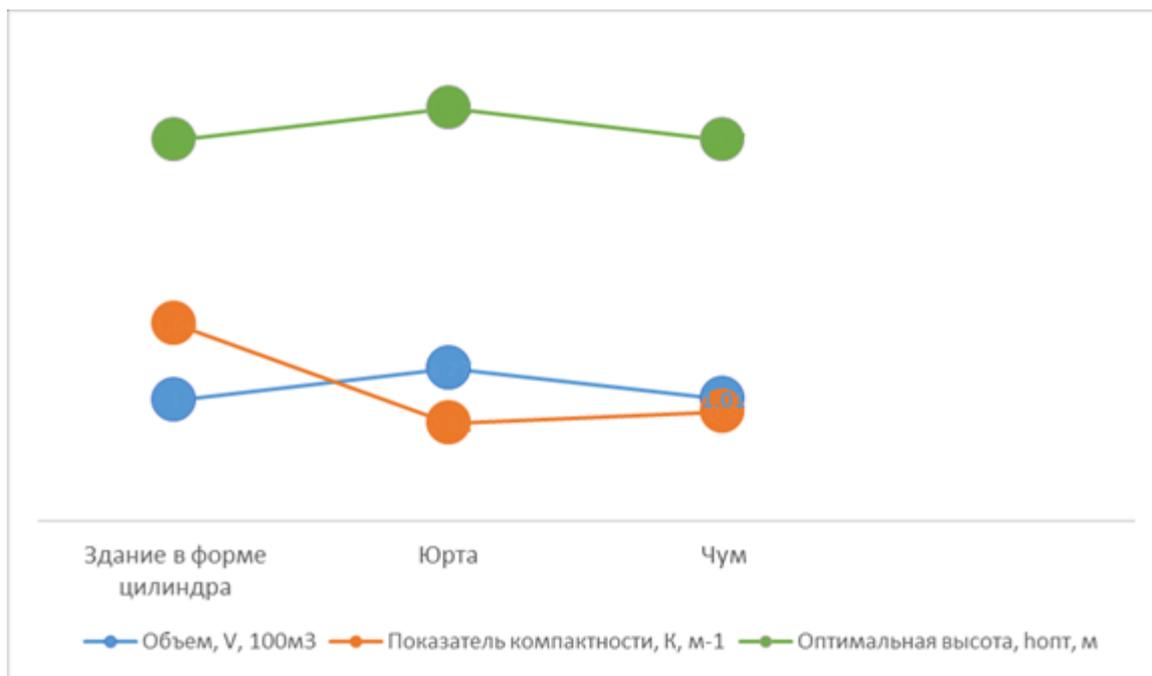


Рис. 2. Сравнение показателей компактности

Кроме архитектурно-планировочных показателей, важную роль играют теплозащитные свойства ограждающих конструкций. Нормативные требования к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций регламентируются СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. СП 50.13330.2012 предъявляет следующее требование: «приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений» [4]. Требуемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций жилых зданий в условиях Республики Тыва при температуре внутреннего воздуха 22 °С представлены на рисунке 3.

Утепление наружных ограждающих конструкций с применением современных теплоизоляционных материалов позволяет существенно уменьшить теплопотери зданий в холодный период года. Помимо утепления наружных ограждений, важную роль в предотвращении теплопотерь играют светопрозрачные конструкции, т.к. через окна происходит большая часть теплопотерь. Использование стеклопакетов с различным числом камер и заполнением камер инертными газами позволяет значительно уменьшить термическое сопротивление теплопередаче и теплопотери в холодный период года.

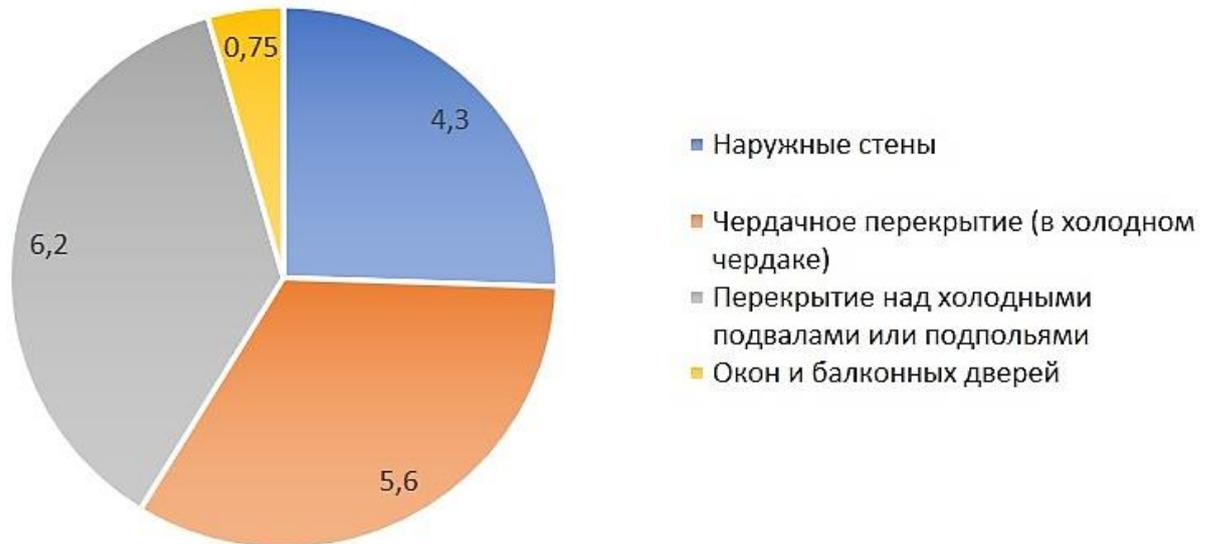


Рис. 3. Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$

**Использование возобновляемых источников энергии.** «Альтернативная энергетика в настоящее время является перспективным направлением, постепенно заменяя использование углеводородов в развитых странах. Наиболее популярными возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), используемыми в энергоэффективных зданиях, являются солнечные батареи и коллекторы, ветряные электростанции и тепловые насосы» [3].

«Солнечные батареи и солнечные коллекторы позволяют принимать солнечное излучение и за счет этого вырабатывать электрическую и тепловую энергию. Использование солнечной энергии является наиболее целесообразным в южных районах России, где повышенная солнечная радиация и большое количество

дней солнечного сияния. Это позволяет накапливать и использовать электрическую энергию, используемую в системах вентиляции и кондиционирования, посредством солнечных батарей и аккумулировать теплоту, затрачиваемую системами отопления и горячего водоснабжения» [6].

«Ветроэнергетика – это одно из перспективных направлений обеспечения энергоэффективных зданий энергией» [7]. В регионах с частыми ветрами использование ветрогенераторов позволяет преобразовывать энергию ветра в электрическую энергию, которую можно использовать в системах вентиляции и кондиционирования.

«Кроме солнечных батарей и ветрогенераторов, к возобновляемым

источникам энергии относятся тепловых насосы в системах жизнеобеспечения энергоэффективных зданий» [8]. «Тепловой насос отводит тепловую энергию низкопотенциального источника теплоты (воздуха, воды, грунта) и передает ее в основном системе отопления или системе горячего водоснабжения. Комбинация систем, использующих ВИЭ, позволяет существенно снизить потребление природных ресурсов. Использование данных систем при строительстве энергоэффективных зданий и сооружений позволяет достичь стандартов дома с нулевым потреблением энергии, а в некоторых случаях, достичь параметров дома плюсовой энергии» [10].

В условиях Республики Тыва возможно частичное или совместное использование ВИЭ с учетом вышеприведенных факторов. Для уменьшения вредных выбросов в атмосферу можно предпринять следующие меры:

1. Применение тепловых насосов в системе отопления – водяные теплые полы. В качестве альтернативы можно использовать электрические теплые полы.

2. Совместное использование солнечной энергии с компрессионными

тепловыми насосами «воздух-вода». Уменьшение вредных веществ в атмосферу будет способствовать увеличению КПД солнечных панелей и коллекторов, т.к. высокая концентрация смога в атмосфере не дает солнечным лучам пройти сквозь нее.

3. Использование котлов отопления на биотопливе (пеллеты, брикеты и т.д.), как альтернативу углю.

**Оптимизация систем обеспечения микроклимата зданий.** Кроме архитектурно-планировочных и конструктивных решений и использования ВИЭ, основной инженерной задачей является оптимизация систем обеспечения микроклимата.

«Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха – наиболее крупные потребители тепловой энергии, они потребляют до 40 % добываемого в стране твердого и газообразного топлива и до 10 % производимой электрической энергии» [10]. Снижения потребления энергоресурсов и повышения энергоэффективности зданий, по мнению Лысёва В.И. и Шилина А.С., можно достичь при помощи использования следующих методов (см. рисунок 4) в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.



Рис. 4. Методы снижения потребления энергоресурсов и повышения энергоэффективности зданий [3]

На основании вышеизложенного следует, что повышение энергоэффективности должно задаваться на всех этапах проектирования и строительства жилых зданий [11]:

- на этапе градостроительства: при выборе строительной площадки необходимо учитывать природно-климатические условия и экологические факторы с целью рационального использования ландшафта местности;

- на этапе проектирования: при выборе объемно-планировочных решений нужно учитывать ориентацию по сторонам света и вопросы компактности формы зданий, а при определении конструктивных решений –

возможность применения ограждающих конструкций с низким коэффициентом теплопроводности;

- на этапе проектирования инженерных систем: при выборе оптимального решения инженерного обеспечения важно учитывать вопросы использования ВИЭ и оптимизации эксплуатационных характеристик инженерных систем, включая систему вентиляции с рекуперацией тепла и автоматизации;

- на этапе строительства – качественное выполнение всех технологических процессов в соответствии с проектно-сметной документацией.

Библиографический список

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Текст – электронный // Министерство энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 15.11.2020).
2. Плешков С.Ю., Пастухова Л.Г. Решение проблем энергосбережения в условиях холодного климата // Вестник АГТУ. 2015. №2 (60). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-problem-energoberezheniya-v-usloviyah-holodnogo-klimata> (дата обращения: 10.11.2020).
3. Лысёв В.И., Шилин А.С. Направления повышения энергоэффективности зданий и сооружений // Холодильная техника и кондиционирование. 2017. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-a-povysheniya-energoeffektivnosti-zdaniy-i-sooruzheniy> (дата обращения: 07.11.2020).
4. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2009 / Минрегион России. М., 2012. 126 с.
5. Саая С.С. Показатель компактности традиционных жилищ кочевников // Journal of Research in Technical Science. North Charleston, USA: SRC MS, CreateSpace. 2017. Issue 6. P. 91-93.
6. Усков А.Е., Гиркин А.С., Дауров А.В. Солнечная энергетика: состояние и перспективы // Научный журнал КубГАУ - Scientific Journal of KubSAU. 2014. № 98. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/solnechnaya-a-energetika-sostoyanie-i-perspektivy> (дата обращения: 09.11.2020).
7. Алехина Е.В. Перспективы ветроэнергетики // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. №12-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vetroenergetiki> (дата обращения: 09.11.2020).
8. Ковалев О.П. Особенности использования тепловых насосов в системах теплоснабжения // Научные труды Дальрыбвтуза. 2007. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ispolzovaniya-teplovyyh-nasosov-v-sistemah-teplosnabzheniya> (дата обращения: 09.11.2020).
9. Овчаров П.В., Садыков Р.А. Применение тепловых насосов в энергосберегающем комплексе // Известия КазГАСУ. 2012. №2 (20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-teplovyyh-nasosov-v-energosberegayemykh-komplekсах>

energoberegayuschem-komplekse (дата обращения: 09.11.2020).

10. Бродач М.М., Ливчак В.И. Здание с близким к нулевому энергетическим балансом // АВОК. 2011. № 5. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4973](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4973) (дата обращения: 09.11.2020).

11. Моделирование результатов инновационных энергосберегающих решений в области строительства индивидуальных жилых домов / Р.М. Сиразетдинов, Е.А. Добросердова, А.Р. Мавлютова, Э.Н. Латыпов, А.Г. Гурьева // Известия КГАСУ : [сайт]. 2015. № 3(33) С. 230-239. URL: [https://izvestija.kgasu.ru/files/3\\_2015/230\\_239\\_Sirazetdinov\\_Dobroserdova.pdf](https://izvestija.kgasu.ru/files/3_2015/230_239_Sirazetdinov_Dobroserdova.pdf) (дата обращения: 15.11.2020).

#### References

1. Energeticheskaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2035 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 9 iyunya 2020 g. № 1523-r [Energy strategy of the Russian Federation for the period up to 2035]. Tekst – elektronnyj // Ministerstvo energetiki Rossijskoj Federacii. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (access date: 15.11.2020) (In Russian).

2. Pleshkov S.Yu., Pastukhova L.G. Reshenie problem energosberezheniya v usloviyah holodnogo klimata [Solution of the issues of

energy saving in conditions of cold climate]. Vestnik AGTU. 2015. No. 2 (60). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-problem-energoberezheniya-v-usloviyah-holodnogo-klimata> (access date: 10.11.2020) (In Russian).

3. Lysov V.I., Shilin A.S. Napravleniya povysheniya energoeffektivnosti zdaniy i sooruzheniy [The ways to increase energy efficiency of buildings and structures] // Holodil'naya tehnika i kondicionirovanie. 2017. No. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-povysheniya-energoeffektivnosti-zdaniy-i-sooruzheniy> (access date: 07.11.2020) (In Russian).

4. SP 50.13330.2012 Teplovaya zashhita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 23-02-2009 [SP 50.13330.2012 Thermal performance of the buildings. Updated edition of SNIp 23-02-2009] / Minregion Rossii. M., 2012. 126 p.

5. Saaya S.S. Pokazatel' kompaktnosti tradicionnyh zhilishh kochevnikov [Indicator of compactness of traditional dwellings of nomads] // Journal of Research in Technical Science. North Charleston, USA: SRC MS, CreateSpace. 2017. Issue 6. P. 91-93. (In Russian).

6. Uskov A.Ye., Girkin A.S., Daurov A.V. Solnechnaya energetika: sostoyanie i perspektivy [Solar power: state and

- prospects]. Nauchnyy zhurnal KubGAU - Scientific Journal of KubSAU. 2014. No. 98. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/solnechnaya-energetika-sostoyanie-i-perspektivy> (access date: 09.11.2020) (In Russian).
7. Alehina Ye.V. Perspektivy vetroenergetiki [Prospects of wind power]. Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki. 2013. No. 12-2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vetroenergetiki> (access date: 09.11.2020) (In Russian).
8. Kovalev O.P. Osobennosti ispol'zovaniya teplovyh nasosov v sistemah teplosnabzheniya [Features of the use of heat pumps in heating systems] // Nauchnyye trudy Dal'rybvтуza. 2007. No. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ispolzovaniya-teplovyh-nasosov-v-sistemah-teplosnabzheniya> (access date: 09.11.2020) (In Russian).
9. Ovcharov P.V., Sadykov R.A. Primenenie teplovyh nasosov v energosberegayushhem komplekse [Application of thermal pumps in a power saving up complex] // Izvestiya KazGASU. 2012. No. 2 (20). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-teplovyh-nasosov-v-energoberegayushchem-komplekse> (access date: 09.11.2020) (In Russian).
10. Brodach M.M., Livchak V.I. Zdanie s blizkim k nulevomu energeticheskim balansom [Nearly zero energy building]. AVOK. 2011. No. 5. Available at: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=4973](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4973) (access date: 09.11.2020) (In Russian).
11. Modelirovanie rezul'tatov innovacionnyh energosberegayushhih resheniy v oblasti stroitel'stva individual'nyh zhilyh domov / R.M. Sirazetdinov, Ye.A. Dobroserdova, A.R. Mavlyutova, E.N. Latypov, A.G. Gur'yeva [Modelling of the effects of innovative energy saving solutions for the construction of detached houses] // Izvestiya KGASU : [site]. 2015. No. 3(33) P. 230 - 239. Available at: [https://izvestija.kgasu.ru/files/3\\_2015/230\\_239\\_Sirazetdinov\\_Dobroserdova.pdf](https://izvestija.kgasu.ru/files/3_2015/230_239_Sirazetdinov_Dobroserdova.pdf) (access date: 15.11.2020) (In Russian).

**Анай-оол Антон Викторович**, магистрант 3 курса, Инженерно-технический факультет, ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл, Россия, e-mail: [anton-anayool@yandex.ru](mailto:anton-anayool@yandex.ru)

**Саая Светлана Сергеевна**, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой строительства и ЖКХ, ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл, Россия, e-mail: sedip@list.ru

**Anton V. Anai-ool**, 3rd year undergraduate student, Faculty of Engineering, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: anton-anayool@yandex.ru

**Svetlana S. Saaia**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Construction and Housing and Communal Services, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: sedip@list.ru

Статья поступила в редакцию 09.01.2024

**УДК 624.07-044.6**

**doi 10.24411/2221-0458-2024-19-34**

## **СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА РЕБРИСТОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ**

*А-Х.Б. Калдар-оол, А-Х.Х. Монгуш, А.К. Монгуш*  
*Тувинский государственный университет, г. Кызыл*

## **COMPARISON OF THE RESULTS OF VERIFICATION CALCULATIONS OF THE RIBBED FLOOR SLAB**

*A-Kh.B. Kaldar-ool, A-Kh. Kh. Mongush, A.K. Mongush*  
*Tuvan State University, Kyzyl*

В настоящее время актуальны вопросы контроля качества несущих конструкций с использованием поверочных расчетов, которые предусматривают проверку фактической прочности, жесткости и трещиностойкости элементов. Цель данного исследования состоит в разработке аналитического и численного методов расчета изгибаемых железобетонных элементов на примере ребристой плиты перекрытия с целью оценки их фактического технического состояния. Новизна данного исследования заключается в использовании численно-аналитического расчета прочности изгибаемых железобетонных элементов на основе нормативных документов. В данной работе были применены известные нормативные методы расчета железобетонных конструкций для определения несущей способности конструкций. Было проведено сопоставление результатов аналитических и численных методов. В результате был проведен расчет прочности ребристой плиты перекрытия на основе действующих норм с использованием численного метода с применением программного комплекса ЛИРА. Для статического расчета были использованы общеизвестные формулы для изгибаемых элементов. Анализ предельного состояния плиты перекрытия с использованием аналитических и численных методов позволяет достаточно точно оценить техническое состояние конструкции. Результаты расчетов показывают некоторые расхождения, что требует корректировки в будущем.

Ключевые слова: численный расчет; аналитический расчет; железобетон; перекрытие; прочность

The article reviews such relevant issues as quality control of load-bearing structures using verification calculations. These calculations include checking the actual strength, stiffness and crack resistance of the elements. The purpose of this research is to develop analytical and numerical methods for calculating bendable reinforced concrete elements using the sample of a ribbed floor slab in order to assess their actual technical condition. It is suggested to use the numerical and analytical calculation of the strength of bending reinforced concrete elements based on regulatory documents. Well-known standard methods for calculating reinforced concrete structures were used to determine the bearing capacity of structures. The results of analytical and numerical methods were compared. The strength of the ribbed floor slab was calculated based on current standards using a numerical method and the LIRA software package. Well-known formulas for bending elements were used in static calculations. Analysis of the limit state of the floor slab using analytical and numerical methods allows one to fairly accurately assess the technical condition of the structure. The calculation results show some discrepancies, which require adjustments in the future.

**Keywords:** numerical calculation; analytical calculation; reinforced concrete; overlap; strength

В настоящее время государственные и региональные органы экспертизы все чаще обращают внимание на необходимость повышения качества выдаваемых заключений и обоснований в проектно-конструкторских решениях по строительным конструкциям из-за увеличивающихся случаев внезапного обрушения. Повышенное внимание к качеству прочностных и эксплуатационных характеристик зданий и сооружений вызвано также усложнением проектных решений и разнообразием архитектурных форм, увеличением количества этажей зданий, применением сложных технологий строительства и принятием недостаточно обоснованных значений запаса прочности

конструкций [1, 2]. Проблема является весьма актуальной.

Общеизвестно [2, 3], что контрольная проверка качества строительных материалов и конструкций должна включать проведение следующих процедур:

- обязательная проверка строительных материалов на соответствие их физико-механических свойств государственным стандартам и представленным техническим условиям;

- ряд комплексных работ, направленных на поддержание в исправном состоянии внутренних систем здания и всех его элементов, а также корректирование работы всех конструкций и устройств;

При этом необходимо включить в мониторинг конструкций зданий и сооружений проверку прочности, жесткости и трещиностойкости, что требует:

- проведения поверочных расчетов несущих конструкций по двум предельным состояниям;

- оценку надежности конструкторских проектов зданий и сооружений;

- анализ страховых рисков в этапах проектирования, строительства и эксплуатации конструкций зданий и сооружений.

Проведение поверочных расчетов достаточно важно, т. к. полученные результаты показывают фактическую величину несущей способности и пригодность к нормальной эксплуатации конструкций.

Железобетонные конструкции в виде балок и плит с различным характером опирания могут получать повреждения в период возведения сооружений. Повреждения локального характера уменьшают несущую способность конструкций, однако не приводят к полной ее потере.

Под локальными повреждениями железобетонных конструкций следует понимать изменение геометрических характеристик конструкций и физических характеристик материалов конструкций в

ограниченной (локальной) области элемента.

Схема расположения локальных повреждений в большинстве случаев носит нерегулярный характер, что затрудняет возможность использовать наиболее распространенный и простой балочный подход для оценки несущей способности поврежденных конструкций в виде плит.

Статический расчет железобетонных плитных конструкций, имеющих локальные повреждения нерегулярного характера, вызывает значительные трудности [4].

Изгибаемым элементам посвящен ряд экспериментально-теоретических исследований [5–9]. Основные подходы к вопросам о наиболее безопасном и оптимальном проектировании конструкций, а также аналитические и численные методы расчета изложены в работах [5, 6, 7]. Актуальны работы, рассматривающие комбинированные изгибаемые элементы [8] из разнообразных материалов [9].

Можно отметить работы [10, 11, 12, 13, 14], где удачно использован нелинейный метод расчета прочности и напряженного состояния на основе итерационных процедур, применительно к изгибаемым элементам из фиброжелезобетона.

Моделирование поведения железобетонных балок при изгибе с учетом реального напряженно-деформированного состояния

было подробно описано в данном исследовании [15].

Целью работы является исследование аналитических и численных методов расчета изгибаемых элементов из железобетона, на примере ребристой плиты перекрытия, для обследования их фактического технического состояния.

Задачи исследования:

1. На основе известных нормативных методов определить внутренние усилия ребристой плиты перекрытия.

2. Произвести расчет железобетонной ребристой плиты перекрытия с применением программного комплекса ЛИРА.

3. Представить относительные сравнения результатов методов расчетов.

В работе применены теоретические методы исследования, определяющие несущую способность конструкции, выполнен приближенный расчет по определению усилий ребристой плиты перекрытия для оценки контроля качества конструкции. Для приближенного описания решения одной и той же конструкции может быть применен аналитический расчет и численный эксперимент без учета дефектов. Исследуемая конструкция сначала описывается линейным статическим расчетом. Для сравнения проведен численный расчет модели плиты

перекрытия при разбивке ее сравнительно небольшим количеством конечных элементов.

В качестве первой попытки оценить конструкцию проведено сравнение решения расчета ребристой плиты перекрытия с результатом современного расчета в программном комплексе ЛИРА.

Бетон класса В15, класс рабочей продольной арматуры А400, класс поперечной и конструктивной арматур В500 [16, 17, 18].

Нормативная временная нагрузка, действующая на плиту перекрытия,  $P_n = 4$  кН/м<sup>2</sup>,  $\gamma_f = 1,2$  – коэффициент надежности по нагрузке.

$\gamma_{b2} = 0,9$  – коэффициент условия работы бетона, поскольку нагрузка малой суммарной продолжительности отсутствует.

Для материала бетона класса В15:

Расчетные сопротивления бетона  $R_b = 8,5$  МПа,  $R_{bt} = 0,75$  МПа,  $E_b = 24,0 \cdot 10^3$  МПа.

$\gamma_{b1} = 0,9$  – нормативный коэффициент условий.

Расчетные сопротивления с учетом  $\gamma_{b1} = 0,9$ :

$$R_b = \gamma_{b1} R_b = 8,5 \cdot 0,9 = 7,65 \text{ МПа};$$

$$R_{bt} = \gamma_{b1} R_{bt} = 0,75 \cdot 0,9 = 0,675 \text{ МПа}.$$

Удельная плотность материала:

$$\gamma_b = 2400 \text{ кг/см}^3 = 24 \text{ кНм}^3.$$

Арматура класса А 400:  $R_s = 355$

МПа;  $E_s = 2 \cdot 10^5$  МПа.

Поперечная (хомуты) и

конструктивная арматурная сталь класса

В500:  $R_{sw} = 300$  МПа,  $E_s = 2 \cdot 10^5$  МПа.

Для определения расчетного пролета

зададим размеры поперечного сечения  
ригеля:

$$l_b = 6,0 \text{ м}, \quad h_b = l_b / 10 = 600 / 10 = 60 \text{ см},$$

$$b_b = 0,3 \cdot h_b = 20 \text{ см}.$$

$$l_1 = l_b - b_b / 2 = 6 - 0,2 / 2 = 5,9 \text{ м}.$$

$$h'_f = 10 \text{ см} - \text{высота полки}, \quad b = 150$$

см – ширина полки.

$$b'_f = 1500 - 400 = 1100 \text{ мм}; \quad b' =$$

$$1100 - 2 \cdot 65 = 970 \text{ мм}.$$

Поперечное сечение плиты  
изображено на рисунке 1.

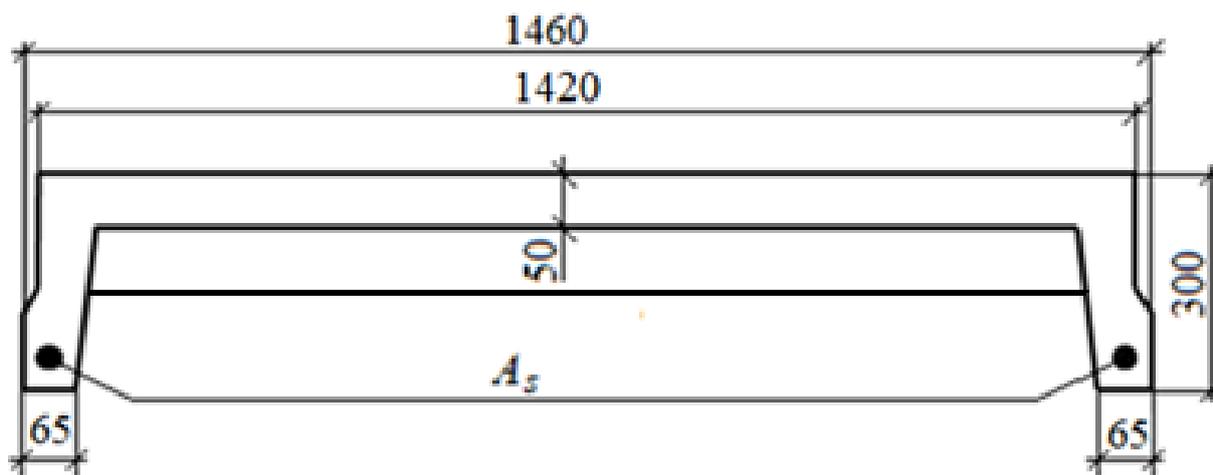


Рисунок 1. Поперечное сечение плиты [18]

$$\text{Рабочая высота } h_0 = h - a = 220 - 30 = 190 \text{ мм}.$$

$a$  – защитный слой бетона.

$$h'_f h = 1022 = 0,45 > 0,1.$$

В таблице 1 приведены характеристики нагрузок.

Таблица 1 - Сбор нагрузок на 1 м<sup>2</sup> плиты [16, 18]

Название нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$	Расчетная нагрузка, кН/м <sup>2</sup>
Постоянная: собственный вес ребристой плиты перекрытия при толщине 0,1 м, $\rho=2500$ кг/м <sup>3</sup>	2,5	1,1	2,75
цветные плитки $t=0,005$ м, $\rho=1800$ кг/м <sup>3</sup>	0,09	1,1	0,1
от слоя цементного раствора $t=0,025$ м, $\rho=2300$ кг/м <sup>3</sup>	0,57	1,1	0,630
Мастика	0,05	1,1	0,06
Толь $t=0,0019$ м, $\rho=600$ кг/м <sup>3</sup>	0,01	1,1	0,01
плиты $t=0,04$ м, $\rho=400$ кг/м <sup>3</sup>	0,16	1,2	0,2
Итого	$g^n = 3,55$	-	$g = 3,75$
Временная	4	1,2	4,8
Полная	7,55	-	$q = 8,55$

Рассматривается полоса шириной  $b=1$  м.

Погонная нагрузка принимается на ширину плиты:

$$q = 8,55 \text{ кН/м.}$$

Усилия от действия внешней нагрузки:

$$M = ql_1^2/8 = 8,55 \cdot 5,9^2/8 = 37,20 \text{ кН}\cdot\text{м;}$$

$$Q = ql_1/2 = 8,55 \cdot 5,9/2 = 25,22 \text{ кН – поперечная сила.}$$

*Расчет плиты перекрытия по нормальному сечению*

Зависимость вычисляется:

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b b' h_0^2} = \frac{37,2 \cdot 10^6}{7,65 \cdot 1420 \cdot 270^2} = 0,047 < \alpha_R = 0,390.$$

Изменение площади сечения арматуры определяется по формуле:

$$A_s = R_b b' h_0 (1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}) / R_s = \\ = 7,65 \cdot 1420 \cdot 270 (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,047}) / 355 = 397,9 \text{ мм}^2$$

В результате вычислений получено требуемое количество рабочей арматуры  $A_s = 397,9 \text{ мм}^2$ :

$$4\text{Ø}10 + 2\text{Ø}8; \Sigma A_s = 314 + 101 = 415 \text{ мм}^2.$$

Проверяем условие:  $R_s \cdot A_s \leq R_b \cdot \gamma_{b1} \cdot b' \cdot h'_f$ .

$$355 \cdot 10^3 \cdot 415 \cdot 10^{-6} = 147,32 \text{ кН} < 7,65 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 1,420 \cdot 0,1 = 977,67 \text{ кН}.$$

Определяем высоту сжатой зоны:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot \gamma_{b1} \cdot b'_f} = \frac{355 \cdot 415}{7,65 \cdot 0,9 \cdot 1420} = 15 \text{ мм}.$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{15}{270} = 0,05 < \xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{R_s}{700}} = \frac{0,8}{1 + \frac{355}{700}} = 0,53.$$

Изгибающий момент от внутренних усилий можно выразить следующей формулой:

$$M'_f = \overline{R_b} b'_f x (h_0 - x/2) = \\ = 7,65 \cdot 10^3 \cdot 1,42 \cdot 0,015 \cdot (0,27 - 0,015/2) = 42,77 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Тогда,

$$M'_f \geq M - \text{условие прочности выполняется.}$$

*Расчет элемента по несущей способности на действие Q*

Расчетные параметры:

$$Q = 25,22 \text{ кН} - \text{величина от внешней нагрузки;}$$

$$q = 8,55 \text{ кН/м} - \text{действующая нагрузка на исследуемый объект.}$$

Выбраны хомуты класса В500,  $R = 300 \text{ МПа}$ .

Зависимость прочности наклонного сечения:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw},$$

где  $Q$  – поперечная сила от внешней нагрузки;

$Q_b = \frac{M_b}{c}$  – перерезывающая сила сжатой зоны бетона в наклонном сечении;

$Q_{sw}$  – усилие в хомутах наклонного сечения;

$$M_b = 1,5R_{bt}bh_0^2 = 1,5 \cdot 0,675 \cdot 146 \cdot 270^2 = 10,77 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{мм} –$$

момент в сжатом бетоне наклонного сечения;

$$c = \sqrt{\frac{M_b}{q}} = \sqrt{\frac{10,77}{8,55}} = 1,12234 \text{ м} = 1122 \text{ мм}.$$

Нормативное ограничение  $c \leq 2h_0$ .

Принимаем  $c = 2h_0 = 2 \cdot 270 = 540$  мм, тогда поперечное усилие в сжатом бетоне:

$$Q_b = \frac{M_b}{c} = \frac{10,77 \cdot 10^6}{540} = 19944,4 \text{ Н} = 19,9 \text{ кН}.$$

Назначение шага хомутов у опоры:

$$S_w = 100 \text{ мм (не более } h/2 = 270/2 = 135 \text{ мм)}.$$

Вычисление в первом приближении:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{S_w} = \frac{300 \cdot 28,26}{100} = 84,78 \text{ Н/мм}.$$

Проверяем условие:

$$\frac{q_{sw}}{R_{bt}b} = \frac{84,78}{0,675 \cdot 146} = 0,86 < 2 – \text{условие выполняется}.$$

$$Q_{sw} = 0,75q_{sw}c = 0,75 \cdot 84,78 \cdot 540 = 34335,9 \text{ Н} = 34,3 \text{ кН}.$$

Проверка условия прочности конструкции:

$$Q_b + Q_{sw} = 19,9 + 34,3 = 54,2 \text{ кН} \quad Q = 25,22 \text{ кН} – \text{несущая}$$

способность наклонных сечений обеспечена. Некоторый запас можно уменьшить пересчетом.

В программном комплексе ЛИРА создана расчетная модель. Для достижения точных результатов были использованы абсолютно неподвижные структуры, соединяющие ребро с плитой воедино [2].

На рисунках 2 и 3 продемонстрированы конечно-элементное и пространственное моделирование ребристой плиты перекрытия [2, 19, 20].

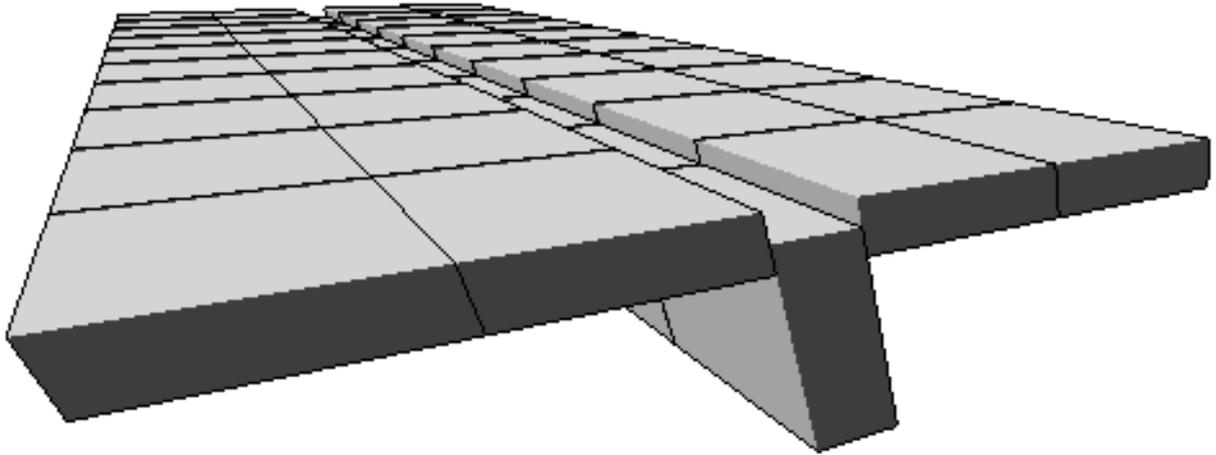


Рисунок 2. Пространственная модель плиты

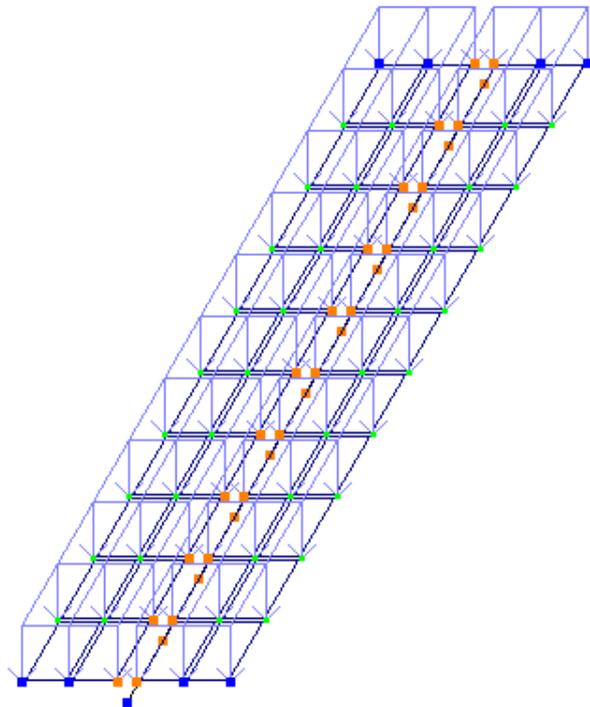


Рис. 3. Расчетная схема ребристой плиты

Крайние узлы пластин со стороны стержня соединены в абсолютно жесткие структуры [2].

На рисунках 4, 5 представлены результаты численного расчета.

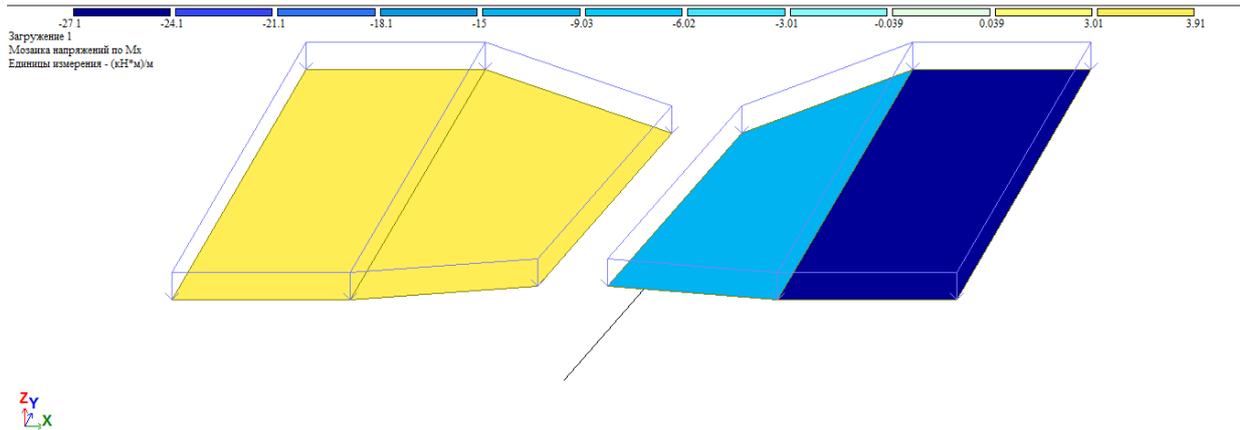


Рисунок 4. Изополю изгибающих моментов  $M$ , кН·м

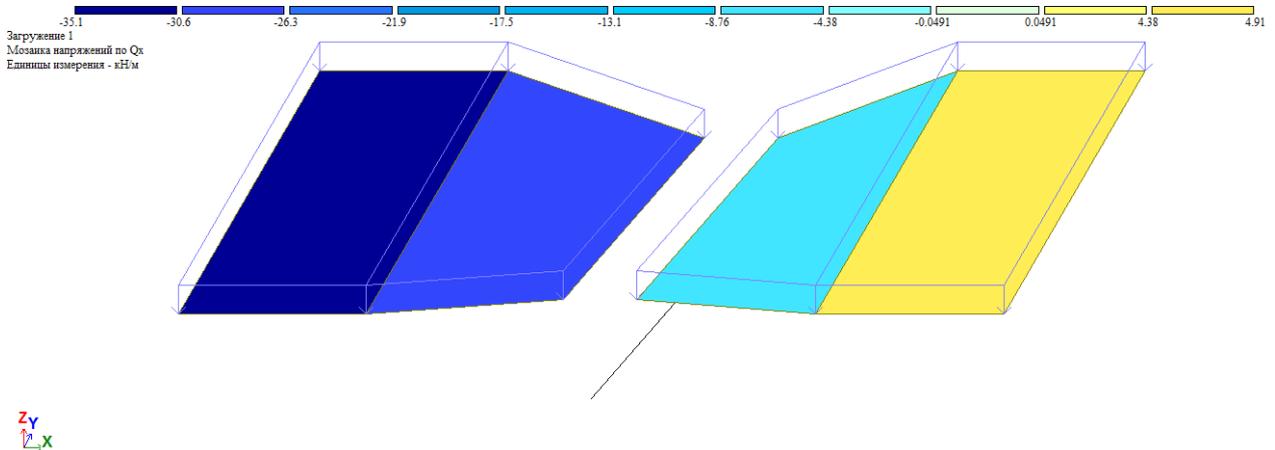


Рисунок 5. Изополю поперечных сил  $Q$ , кН

По результатам численного расчета получены

усилия от внешних нагрузок:  $M = 27,1$  кН·м;  $Q = 35,1$  кН.

Сравнение результатов численного (МКЭ) и аналитического методов представлено в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение результатов

Методы	$M$ , кН·м	$Q$ , кН
По нормам	42,77	54,2
Численный на Лире	27,1	35,1
%	36,63	35

**Выводы:**

1. Количественные расхождения (36,63% и 35%) между аналитическим и численным методом, очевидно, обусловлены многими факторами, которые требуют корректировки.

2. Для улучшения сходимости результатов в дальнейшем необходимо изучение и анализ применяемых в поверочных расчетах нормативных коэффициентов.

Библиографический список

1. Городецкий А.С. Повышение качества расчетов строительных конструкций на основе совместного использования программных комплексов STARK ES И ЛИРА / А.С. Городецкий, Ю.П. Назаров, Ю.Н. Жук, В.Н. Симбиркин // Информационный вестник Мособлгосэкспертизы. – 2005. – № 1(8). – С. 42-49. URL: <http://docplayer.ru/36465413> (дата обращения: 13.10.2023).
2. Куликова О.Ю. Моделирование ребристых плит перекрытий в системе ЛИРА САПР / О.Ю. Куликова, А.С. Васильев // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2018. № 1(30). С. 49–54. EDN YODZEL URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=36452554> (дата обращения: 13.10.2023).
3. Керженцев О.Б. Экспериментальные исследования прочностных и деформационных характеристик арматуры с односторонними

- повреждениями // Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций : межвуз. темат. сб. тр. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 1999. С. 46–50.
4. Ставров Г.Н. Динамический расчет конструкций в виде плит с локальными повреждениями / Г.Н. Ставров, В.А. Катаев, С.О. Гунин, С.С. Симченков // Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций: межвуз. темат. сб. тр. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 1999. С. 75–82.
5. Michał D., Jacek Ś. Design aspects of the safe structuring of reinforcement in reinforced concrete bending beams // Procedia Engineering. 2017. V. 172. Pp. 211–217. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.051
6. Herranz J.P., Maria H.S., Gutiérrez S., Riddell R. Optimal Strut-and-tie models using full homogenization optimization method // ACI Structural Journal. 2012. V.

- 109(5). Pp. 605–613.  
DOI:10.14359/51684038
7. Garstecki A., Glema A., Ścigałło J. Optimal design of reinforced concrete beams and frames // *Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences*. 1996. V. 3(3). Pp. 223–231.
8. Amin A., Gilbert R.I. instantaneous crack width calculation for steel fiber-reinforced concrete flexural members // *Aci Structural Journal*. 2018. V. 115. No. 2. Pp. 535–542. DOI:10.14359/51701116
9. Szeptyński P. Comparison and experimental verification of simplified one-dimensional linear elastic models of multilayer sandwich beams // *Composite Structures*. 2020. V. 214. Pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112088
10. Orbul E.K., Dmitriev D.A., Vedernikova A.A. Calculation of bending of steel-fiber-reinforced concrete members by a nonlinear deformation model with the use of iteration procedures // *Mechanics of Composite Materials*. 2018. V. 54 № 5. Pp. 379–394. DOI:10.1007/s11029-018-9769-x
11. Опбул, Э. К. Расчет прочности фиброжелезобетонных изгибаемых элементов с использованием трехлинейной диаграммы деформирования растянутой зоны / Э. К. Опбул, Э. Э. Ондар, А-Х. Б. Калдар-оол // *Научное обозрение*. – 2016. – № 14. – С. 100-106. – EDN WMDSQN.
12. Опбул, Э. К. Деформационные модели расчета прочности изгибаемых железобетонных элементов / Э. К. Опбул, Э. Э. Ондар, А-Х. Б. Калдар-оол // *Вестник Тувинского государственного университета. №3 Технические и физико-математические науки*. – 2020. – № 1(58). – С. 6-22. – DOI 10.24411/2077-6896-2020-10023. – EDN RSOHBX.
13. Опбул, Э. К. Практическое применение нелинейной деформационной модели в расчёте коротких железобетонных элементов, находящихся в косом внецентренном сжатии / Э. К. Опбул, А-Х. Б. Калдар-оол // *Вестник Тувинского государственного университета. №3 Технические и физико-математические науки*. – 2022. – № 1(90). – С. 34-48. – DOI 10.24411/2221-0458-2022-90-34-48. – EDN YTZQSI.
14. Опбул, Э. К. Деформационная модель прочности изгибаемого элемента в среде Matlab / Э. К. Опбул, А-Х. Б. Калдар-оол, К. Х. Ле // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 110-129. – DOI 10.31675/1607-1859-2022-24-4-110-129. – EDN AXCAMJ.

15. Wróblewski, R., Ignatowicz, R., Gierczak, J. Influence of Shrinkage and Temperature on a Composite Pretensioned - Reinforced Concrete Structure. *Procedia Engineering*. 2017. V. 193. Pp. 96–103. DOI:10.1016/j.proeng.2017.06.191
  16. Золотарев В.П. Железобетонные конструкции. Расчет и конструирование. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2007. 62 с.
  17. Опбул Э.К., Калдар-оол А-Х.Б. Железобетонные конструкции. Расчет и конструирование. Кызыл : ТувГУ, 2022. 128 с.
  18. Строительные конструкции: Учеб. для авт.-дор. спец. Вузов / И. Г. Иванов-Дятлов, К. П. Деллос, А. И. Иванов-Дятлов [и др.] / под ред. В. Н. Байкова, Г. И. Попова. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Высшая школа, 1986. 543 с.
  19. Ромашкина М.А., Титок В.П. Программный комплекс ЛИРА-Сапр®. Руководство пользователя. Обучающие примеры. Электронное издание, 2018 г. 254 с. URL: [https://rflira.ru/files/lira-sapr/Book\\_LIRA\\_SAPR\\_2018.pdf](https://rflira.ru/files/lira-sapr/Book_LIRA_SAPR_2018.pdf) (дата обращения: 13.10.2023).
  20. Калдар-оол, А. Х. Б. Поверочный расчёт для контроля качества несущих конструкций наземной части / А-Х. Б. Калдар-оол, О. А. Донгак // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 78-88. – doi 10.31675/1607-1859-2023-25-6-78-88.
- References
1. Gorodetsky A.S., Nazarov Yu.P., Zhuk Yu.N., Simbirkin V.N. Povyshenie kachestva raschetov stroitel'nykh konstruktsiy na osnove sovmestnogo ispol'zovaniya programmnykh kompleksov STARK ES I LIRA [Improving the quality of calculations of building structures based on the joint use of STARK ES and LIRA software complexes]. [Information Bulletin of Mosoblgosexpertiza]. 2005. No. 1(8). Pp. 42-49. Available at: <http://docplayer.ru/36465413> (access date: 13.10.2023).
  2. Kulikova O.Yu., Vasiliev A.S. Modelirovanie rebristykh plit perekrytiy v sisteme LIRA SAPR [Modeling of ribbed floor slabs in the LIRA CAD system]. [Bulletin of the Amur State University. Sholom Aleichem]. 2018. No. 1(30), pp. 49-54. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=36452554> (access date: 10/13/2023).
  3. Kerzhentsev O.B. Modelirovanie rebristykh plit perekrytiy v sisteme [Experimental studies of strength and deformation characteristics of reinforcement with unilateral damage // Improvement of calculation methods and research of new

- types of reinforced concrete structures : mezhvuz.]. St. Petersburg, SPbSACU, 1999. pp. 46-50. (In Russian)
4. Stavrov G.N., Kataev V.A., Gunin S.O., Simchenkov S.S. Dinamicheskiy raschet konstruktsiy v vide plit s lokal'nymi povrezhdeniyami // Sovershenstvovanie metodov rascheta i issledovanie novykh tipov zhelezobetonnykh konstruktsiy: mezhvuz. temat. sb. tr. [Dynamic calculation of structures in the form of slabs with local damage / Improvement of calculation methods and research of new types of reinforced concrete structures: collection of works]. St. Petersburg : SPbSACU, 1999. pp. 75-82. (In Russian)
  5. Michał D., Jacek Ś. Design aspects of the safe structuring of reinforcement in reinforced concrete bending beams // Procedural Engineering. 2017. V. 172. Pp. 211–217. doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.051
  6. Herranz J.P., Maria H.S., Gutiérrez S., Riddell R. Optimal Strut-and-tie models using full homogenization optimization method // ACI Structural Journal. 2012. V. 109(5). Pp. 605–613. doi:10.14359/51684038
  7. Garstecki A., Glema A., Ścigałło J. Optimal design of reinforced concrete beams and frames // Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences. 1996. V. 3(3). Pp. 223–231.
  8. Amin A., Gilbert R.I. instantaneous crack width calculation for steel fiber-reinforced concrete flexural members // Aci Structural Journal. 2018. V. 115. No. 2. Pp. 535–542. doi:10.14359/51701116
  9. Szeptyński P. Comparison and experimental verification of simplified one-dimensional linear elastic models of multilayer sandwich beams // Composite Structures. 2020. V. 214. Pp. 1–13. doi: 10.1016/j.compstruct.2020.112088
  10. Opbul E.K., Dmitriev D.A., Vedernikova A.A. [Calculation of bending of steel-fiber-reinforced concrete members by a nonlinear deformation model with the use of iteration procedures]. Mechanics of Composite Materials. 2018. V. 54 № 5. Pp. 379–394. DOI:10.1007/s11029-018-9769-x
  11. Opbul E. K., Ondar E. E., Kaldar-ool A-Kh. B. Raschet prochnosti fibrozhelezobetonnykh izgibaemykh elementov s ispol'zovaniem trekhlineynoy diagrammy deformirovaniya rastyanutoy zony [Calculation of the strength of fibro-reinforced concrete bending elements using a three-line diagram of deformation of a stretched zone]. Scientific Review. 2016. No. 14, pp. 100-106. (In Russian)
  12. Opbul E. K., Ondar E.e., Kaldar-ool A-Kh. B. Deformatsionnye modeli rascheta

- prochnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov [Deformation models for calculating the strength of bent reinforced concrete elements]. *Vestnik of Tuvan State University*. No. 3 Technical and physical and mathematical sciences. 2020. No. 1(58). Pp. 6-22. doi: 10.24411/2077-6896-2020-10023.
13. Opbul E. K., Kaldar-ool A.-Kh.B. Prakticheskoe primeneniye nelineynoy deformatsionnoy modeli v raschete korotkikh zhelezobetonnykh elementov, nakhodyashchikhsya v kosom vnetsentrennom szhatii [Practical application of a nonlinear deformation model in the calculation of short reinforced concrete elements in oblique off-center compression]. *Vestnik of Tuvan State University*. No. 3 Technical and physical and mathematical sciences. 2022. No. 1(90). Pp. 34-48. doi 10.24411/2221-0458-2022-90-34-48. (In Russian)
14. Opbul E. K., Kaldar-ool A.-Kh.B., Le K. H. Deformatsionnaya model' prochnosti izgibaemogo elementa v srede Matlab [Deformation model of the strength of a bent element in a Matlab environment]. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2022. Vol. 24, No. 4. pp. 110-129. doi 10.31675/1607-1859-2022-24-4-110-129. (In Russian)
15. Wróblewski, R., Ignatowicz, R., Gierczak, J. Influence of Shrinkage and Temperature on a Composite Pretensioned - Reinforced Concrete Structure. *Procedia Engineering*. 2017. V. 193. Pp. 96–103. DOI:10.1016/j.proeng.2017.06.191
16. Zolotarev V.P. Zhelezobetonnye konstruktsii. Raschet i konstruirovaniye [Reinforced concrete structures. Calculation and design]. St. Petersburg, SPbSACU, 2007. 62 p. (In Russian)
17. Opbul E.K., Kaldar-ool A.-H.B. Zhelezobetonnye konstruktsii. Raschet i konstruirovaniye [Reinforced concrete structures. Calculation and design]. Kyzyl, TuvSU Publ., 2022. 128 p. (In Russian)
18. Ivanov-Dyatlov I. G., Dellos K. P., Ivanov-Dyatlov A. I. [et al.]. Stroitel'nye konstruktsii: Ucheb. dlya avt.-dor. spets. Vuzov [Building structures: Study. for the author.-dor. spec. Universities]. Edited by V. N. Baykov, G. I. Popov. 2nd ed., reprint. and add. Moscow, Vyschaya shkola Publ., 1986. 543 p. (In Russian)
19. Romashkina M.A., Titok V.P. The LIRA-Cad ® software package. User's Guide. Training examples. Electronic edition, 2018, 254 p. Available at: [https://rflira.ru/files/lira-sapr/Book\\_LIRA\\_SAPR\\_2018.pdf](https://rflira.ru/files/lira-sapr/Book_LIRA_SAPR_2018.pdf) (access date: 10/13/2023).
20. Kaldar-ool A. Kh. B., Dongak O. A. Poverochnyy raschet dlya kontrolya

kachestva nesushchikh konstruktsiy nazemnoy chasti [Verification calculation for quality control of bearing structures of the ground part]. Bulletin of the Tomsk State

University of Architecture and Civil Engineering. - 2023. – vol. 25, No. 6. – pp. 78-88. – doi 10.31675/1607-1859-2023-25-6-78-88.

**Калдар-оол Анай-Хаак Бугалдаевна**, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл, Россия, e-mail: oorzhaka-h@mail.ru

**Монгуш Анчы Кызыл-оолович**, магистрант, ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл, Россия, e-mail: mongush1996@mail.ru

**Монгуш Алдын-Херел Хеймерович**, магистрант, ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл, Россия, e-mail: mongush.aldyn97@mail.ru

**Anay-Khaak Bugaldayevna Kaldar-ool**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: oorzhaka-h@mail.ru

**Anchy Kyzyl-oolovich Mongush**, master's student, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: mongush1996@mail.ru

**Aldyn-Kherel Kheimerovich Mongush**, master's student, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: mongush.aldyn97@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.02.2024

**УДК 691.328**

**doi 10.24411/2221-0458-2024-35-47**

## **НОВЫЙ ПОДХОД К РАСЧЁТУ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Эренчин А.О.<sup>1</sup>, Опбул Э.К.<sup>1, 2</sup>*

<sup>1</sup>*Тувинский государственный университет*

<sup>2</sup>*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора*

*Александра I*

## **A NEW APPROACH TO CALCULATING THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER OPERATION**

*A.O. Erenchin<sup>1</sup>, E.K. Opbul<sup>1, 2</sup>*

<sup>1</sup>*Tuvan State University, Kyzyl*

<sup>2</sup>*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*

В статье предложен новый подход к расчёту прочности конструктивных элементов зданий и сооружений, находящихся в стадии эксплуатации. Как правило, при обследовании зданий и сооружений необходимо произвести поверочные расчёты с целью оценки их технического состояния. При этом изначально выявляют величину действующей нагрузки, фактические геометрические размеры, инструментально определяют прочностные характеристики материалов, а также существующие дефекты. Перечисленные искомые параметры могут быть использованы для расчёта прочности и надёжности конструкций путём использования деформационного метода расчёта. Для реализации деформационного метода должны быть известны изгибающий момент от внешней нагрузки, геометрические размеры и параметры армирования элемента. Деформационный метод расчёта позволяет не только определить прочность, но и также проследить все стадии работы конструкции, начиная от упругой, упругопластической и до разрушения. Приводится пример расчёта прочности железобетонного прогона, выполнено сравнение результатов.

Ключевые слова: обследование; конструкция; прочность; напряжение; критерий прочности; усилие; диаграммный метод; итерация

The article proposes a new approach to calculating the strength of structural elements of buildings and structures under the operation. As a rule, when inspecting buildings and structures, it is necessary to carry out verification calculations in order to assess their technical condition. At the same time, the magnitude of the effective load, the actual geometric dimensions are initially revealed, and the strength characteristics of materials, as well as existing defects, are instrumentally determined. The listed required parameters can be used to calculate the strength and reliability of structures by using the deformation method of calculation. To implement the deformation method, the bending moment from the external load, geometric dimensions and reinforcement parameters of the element must be known. The deformation method of calculation allows not only to determine the strength, but also to trace all stages of the structure's operation, starting from elastic, elastoplastic and to destruction. An example of calculating the strength of a reinforced concrete girder is given, and the results are compared.

Keywords: examination; design; strength; stress; strength criterion; effort; diagrammatic method; iteration

### **Введение**

Прочностью конструкций принято считать их способность, не разрушаясь, сопротивляться внешним воздействиям. Расчёт прочности конструкций относится к первой группе предельных состояний. Если условие прочности не выполняются, то сначала увеличивают жёсткость за счёт увеличения высоты поперечного сечения или принимают более высокий класс бетона, редко класс арматуры, только тогда можно переходить к расчёту второй группы предельных состояний.

Цель исследования – предложить новый подход к расчёту прочности изгибаемых железобетонных конструкций, находящихся в стадии эксплуатации.

Новизна работы заключается в следующем. В момент обследования технического состояния строительных конструкций, в поверочных расчётах прочности и надёжности используется деформационный метод, при котором за критерием прочности принимается суммарное внутреннее усилие от напряжений.

Известно [1, 2], что под надёжностью строительных конструкций, эксплуатируемых зданий и сооружений понимается их способность выполнять заданные проектом функции в течение требуемого промежутка времени. В случае обеспечения надёжности конструкции, численные значения внутренних усилий от действующих

нагрузок, а также напряжения и деформации (прогибы, перемещения) в опасных сечениях, раскрытие трещин не должны превосходить предельно-допустимые значения, установленные действующими нормами. Основными базисными переменными при расчёте конструкций [3], находящихся в стадии эксплуатации являются свойства строительных материалов, внешние нагрузки, геометрические размеры и так далее прочее.

Одним из основных критериев надёжности конструкций является вероятность безотказной работы на некотором отрезке времени, его называют ещё функцией надёжности, которая определяется по формуле:

$$Q(t) = 1 - P(t),$$

где  $P(t)$  – вероятность отказа.

Согласно работе профессора А.М. Масленникова [3], «если соединить законы механики с правилами теории вероятностей, то с помощью базисных переменных можно теоретически определить вероятность наступления состояний отказа, и такой путь доступен при следующих условиях:

А) Известна исчерпывающая статистическая информация о базисных переменных;

Б) Имеются математически сформированные законы механики, определяющие связи между воздействием и

внутренним сопротивлением (несущей способности) конструкции.

В) Определено предельное состояние, к которому относится вероятность отказа».

При расчёте надёжности конструкций с использованием теории вероятностей и математической статистики потребуется выполнения достаточно большого количества лабораторных испытаний, и, следовательно, потребуется большое количество образцов. Последнее вызывает определенную трудность, если здание находится в стадии эксплуатации.

При обследовании железобетонной балки, прочность бетона может быть определена с помощью неразрушающего метода контроля или с отбором образцов-кернов из растянутой зоны с последующим бетонированием места отбора керна новым бетоном. Класс, количество и диаметр арматуры (прочность) могут быть определены визуально при вскрытии защитного слоя бетона, отбором куска арматуры из сжатой зоны и из ненапряженных участков конструкции, с последующим бетонированием новым бетоном. При этом надо понимать, что все эти операции возможны только в ограниченных условиях и количестве.

В предлагаемой работе в качестве критерия прочности конструкции принята суммарная величина внутренних усилий,

возникающих от действия внешних нагрузок. Поскольку по результатам визуального и лабораторного исследований определяются численное значение действующей нагрузки, геометрические размеры конструкции, параметры армирования, прочностные характеристики материалов, то становится возможным использование деформационного метода расчёта для определения внутренних усилий в конструкции.

Таким образом, ниже представлена методика расчёта прочности (надёжности) конструкции, находящегося в стадии эксплуатации, на примере железобетонного прогона.

#### Методика исследования

Алгоритм итерационного расчёта для определения напряжений [4-14].

А) Определяется центр тяжести приведенного сечения:

$$y_0 = \frac{S_{\text{red}}}{A_{\text{red}}}. \quad (1)$$

Б) Находят приведенный статический момент:

$$S_{\text{red}} = \sum A_{bi} y_{bi} + \sum \alpha \cdot A_{si} y_{si}, \quad (2)$$

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,  $\alpha$  – коэффициент приведения арматуры в бетон.

В) Площадь сечения приведённая:

$$A_{\text{red}} = \sum b_{bi} \cdot \Delta_{bi} + \sum \alpha \cdot A_{si}, \quad (3)$$

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

Г) Определение положения нейтральной линии (НЛ) для  $j$ -й итерации:

$$y_{0j} = \frac{\sum E'_{bi} A_{bi} y_{bi} + \sum E'_{si} A_{si} y_{si}}{\sum E'_{bi} A_{bi} + \sum E'_{si} A_{si}}, \quad (4)$$

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

Д) Кривизна элемента при  $j$ -й итерации:

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

где  $y'_{bi} = y_{0j} - y_{bi}$ ,  $y'_{si} = y_{0j} - y_{si}$  – плечо пары сил, соответственно для малых участков бетона и арматуры,  $j = 1 \dots n$  – номер итерации.

Е) Условие, когда заканчивается итерационный цикл:

$$\delta = \frac{\frac{1}{r_j} - \frac{1}{r_{j-1}}}{\frac{1}{r_{j-1}}} \cdot 100\% \leq 0,1\%. \quad (6)$$

Ж) Определение деформаций, при установленной максимальной кривизне элемента ( $\frac{1}{r_{j,\text{max}}}$ ):

$$\varepsilon_{bi} = \frac{1}{r_{j,\text{max}}} \cdot y'_{bi}; \quad \varepsilon_{si} = \frac{1}{r_{j,\text{max}}} \cdot y'_{si}. \quad (7)$$

З) Определение напряжений и модулей деформаций в бетоне в

зависимости от диаграммы деформирования (класса В20), представленной на рисунке 1.

При сжатии:

•  $0 < \varepsilon_{bi} < 150 \cdot 10^{-5}$ :  $E'_{bi} = \text{const} = E_b = 27500 \text{ МПа}$ ,

$$\sigma_{bi} = R_b \cdot \frac{\varepsilon_{bi}}{150 \cdot 10^{-5}} \text{ МПа.} \quad (8)$$

•  $150 \cdot 10^{-5} < \varepsilon_{bi} < 350 \cdot 10^{-5}$ :  $E'_{bi} = \frac{0,9}{\varepsilon_{bt}} \text{ МПа}$ .

$$\frac{R_b}{\varepsilon_{bi}} = \frac{11,5}{\varepsilon_{bi}} \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{bi} = R_b = 11,5 \text{ МПа.} \quad (9)$$

При растяжении:

•  $0 < \varepsilon_{bti} < 8 \cdot 10^{-5}$ :  $E'_{bti} = E_b =$

27500 МПа,

$$\sigma_{bti} = R_{bt} \cdot \frac{\varepsilon_{bti}}{8 \cdot 10^{-5}} \text{ МПа.} \quad (10)$$

•  $8 \cdot 10^{-5} < \varepsilon_{bti} < 15 \cdot 10^{-5}$ :  $E'_{bti} =$

$\frac{0,9}{\varepsilon_{bt}} \text{ МПа}$ .

$$\sigma_{bti} = R_{bt} = 0,9 \text{ МПа.} \quad (11)$$

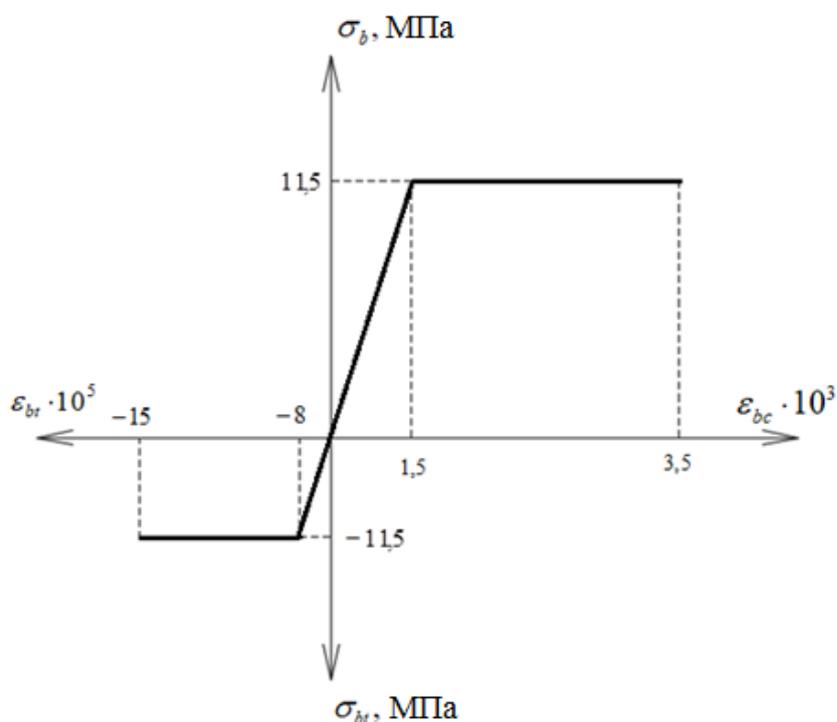


Рис. 1. Зависимость « $\sigma - \varepsilon$ » для бетона класса В20

И) Определение напряжений и модулей деформаций в арматуре согласно рисунку 1 (класса А300):

•  $0 < \varepsilon_{si} < 1,4 \cdot 10^{-3}$ :  $E'_s = E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ,

$$\sigma_{si} = R_s \cdot \frac{\varepsilon_{si}}{\varepsilon_{s1}} = 280 \cdot \frac{\varepsilon_{si}}{1,4 \cdot 10^{-3}} \text{ МПа,} \quad (12)$$

$$\text{где } \varepsilon_{s1} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{280}{2 \cdot 10^5} = 1,4 \cdot 10^{-3}.$$

•  $1,4 \cdot 10^{-3} < \varepsilon_{si} < 25 \cdot 10^{-3}$ :  $E'_s =$

$$\frac{R_s}{\varepsilon_{si}} = \frac{280}{\varepsilon_{si}} \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{si} = R_s = 280 \text{ МПа.} \quad (13)$$

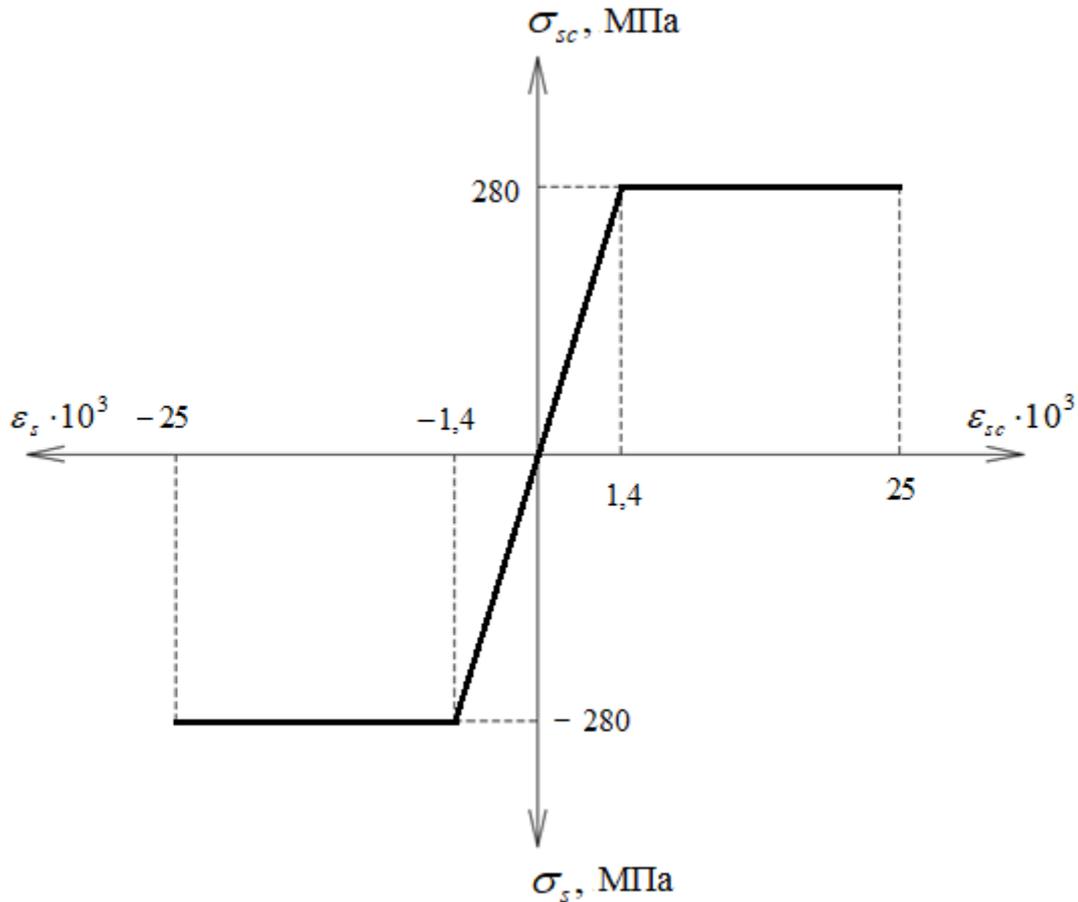


Рис. 2. Зависимость « $\sigma - \epsilon$ » для арматуры класса А300

К) Определение внутреннего усилия [5-8]:

$$M_{\text{calc}} = \sum \sigma_{bi} A_{bi} y'_{bi} + \sum \sigma_{si} A_{si} y'_{si} \geq M_{\text{ult}}. \quad (14)$$

### Практические исследования

Согласно работе [15] для поверочных расчётов железобетонного прогона учитывались следующие расчетные параметры, которые были выявлены после инструментального обследования. Поперечное сечение имеет размеры  $b = 20$  см,  $h = 50$  см,  $h_0 = 46,5$  см; бетон класса В20 с расчетными сопротивлениями  $R_b = 11,5$  МПа и  $R_{bt} = 0,9$  МПа,  $E_b = 27500$  МПа;

арматура класса А300, количество и диаметр равны:  $4\emptyset 18$  с  $A_s = 10,17$  см<sup>2</sup> и расчетным сопротивлением  $R_s = R_{sc} = 280$  МПа,  $E_s = 2 \cdot 10^5$  МПа; по результатам подсчёта нагрузок на прогон действует внешний изгибающий момент  $M_{\text{external}} = 135$  кНм. Из-за сильной загруженности прогона не была вскрыта сжатая арматура прогона.

Поверочный расчёт, выполненный в [15] обнаружил, что условие прочности не выполняется. Ниже представлен результат расчёта:

$$M_{\text{internal}}^1 = 114,79 < M_{\text{external}} = 135,0$$

кНм – следовательно, прогон требует усиления.

Ниже представлен апробация предлагаемого деформационного метода

для расчёта прочности железобетонного прогона под нагрузкой.

На рисунке 3 представлено поперечное сечение железобетонного прогона с разбиением на малые участки. Также на рисунке 1 даны все необходимые численные размеры сечения малых участков. Итерационные расчёты произведены на программе Excel.

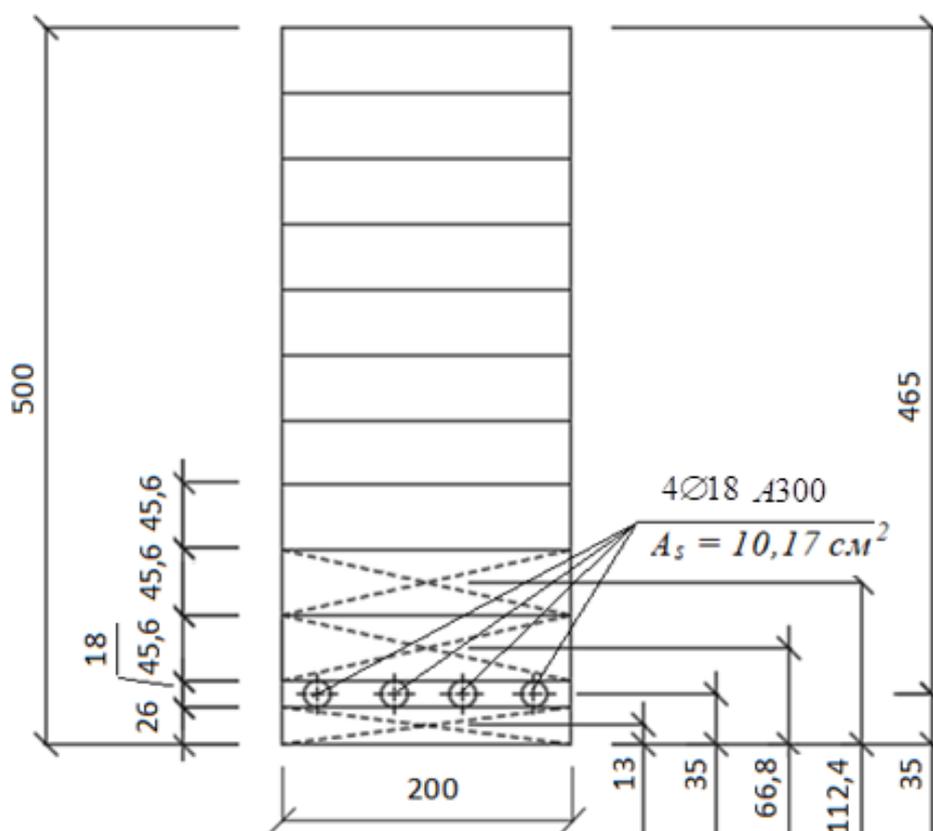


Рис. 3. Геометрические размеры железобетонного прогона и разбивка поперечного сечения на малые участки

В таблице 1 представлены исходные данные для итерационного расчёта.

Таблица 1 - Исходные данные для расчёта

$i$	$\pi_{bi}$	$y_{bi}$	$b_i$	$A_{bi}$	$y_{si}$
	см	см	см	см <sup>2</sup>	см
1	2.6	1.3	20	52	
2	1.8	3.5	20	25.83	3.5
3	4.56	6.68	20	91.2	
4	4.56	11.24	20	91.2	
5	4.56	15.8	20	91.2	
6	4.56	20.36	20	91.2	
7	4.56	24.92	20	91.2	
8	4.56	29.48	20	91.2	
9	4.56	34.04	20	91.2	
10	4.56	38.6	20	91.2	
11	4.56	43.16	20	91.2	

В таблице 2 представлен фрагмент первой итерационной процедуры.

Таблица 2 - Фрагмент первой итерации в программе Excel

$i$	$y_{bi}$	$A_{bi}$	$E_{bi}^N$	$y_{si}$	$A_{si}$	$E_{si}^N$	$y_{oj}$	$y_{bi}^N$	$y_{si}^N$	$1/r_{-j}$ см <sup>-1</sup>	$\varepsilon_{bi}$	$\sigma_{bi}$	$\varepsilon_{si}$	$\sigma_{si}$
	см	см <sup>2</sup>	МПа	см	см <sup>2</sup>	МПа	см	см	см			МПа		МПа
1	1.3	52	2.75E+04					22.41			4.69E-04	0.00		
2	3.5	25.83	2.75E+04	3.5	10.17	2E+05		20.21	20.21		4.23E-04	0.00	4.23E-04	84.643
3	6.68	91.2	2.75E+04					17.03			3.57E-04	0.00		
4	11.24	91.2	2.75E+04					12.47			2.61E-04	0.00		
5	15.8	91.2	2.75E+04					7.91			1.66E-04	0.00		
6	20.36	91.2	2.75E+04				23.71	3.35		2.09E-05	7.02E-05	0.79		
7	24.92	91.2	2.75E+04					-1.21			-2.53E-05	-0.19		
8	29.48	91.2	2.75E+04					-5.77			-1.21E-04	-0.93		
9	34.04	91.2	2.75E+04					-10.33			-2.16E-04	-1.66		
10	38.6	91.2	2.75E+04					-14.89			-3.12E-04	-2.39		
11	43.16	91.2	2.75E+04					-19.45			-4.07E-04	-3.12		
12	47.72	91.2	2.75E+04					-24.01						

В таблице 3 представлен фрагмент заключительной шестой итерационной процедуры.

Таблица 3 - Фрагмент шестой итоговой итерации, полученной на программе Excel

i	$A_{rbi}$	$E_{bi}^N$	$A_{si}$	$E_{si}^N$	$y_{oj}$	$y_{bi}^N$	$y_{si}^N$	$r_{-j}$	$\varepsilon_{bi}$	$\sigma_{bi}$	$\varepsilon_{si}$	$\sigma_{si}$	
	см <sup>2</sup>	МПа	см <sup>2</sup>	МПа	см	см	см	см <sup>-1</sup>		МПа		МПа	
1	52	0.00E+00			30.39	29.09		6.14E-05	1.79E-03	0.00			
2	25.83	0.00E+00	10.17	2E+05		26.89	26.89		1.65E-03	0.00	1.65E-03	280	
3	91.2	0.00E+00				23.71			1.45E-03	0.00			
4	91.2	0.00E+00				19.15			1.18E-03	0.00			
5	91.2	0.00E+00				14.59			8.95E-04	0.00			
6	91.2	0.00E+00				10.03			6.15E-04	0.00			
7	91.2	0.00E+00				5.47			3.36E-04	0.00			
8	91.2	1.75E+04				0.91			5.57E-05	0.97			
9	91.2	1.47E+04				-3.65			-2.24E-04	-3.29			
10	91.2	1.47E+04				-8.21			-5.04E-04	-7.39			
11	91.2	1.47E+04				-12.77			-7.84E-04	-11.50			
12	91.2	1.47E+04				-17.33			-1.06E-03	-15.60			

На шестой итерации наступило справедливость условия (6), равное:

$$\delta = \frac{\frac{1}{r_j} - \frac{1}{r_{j-1}}}{\frac{1}{r_{j-1}}} \cdot 100\% \leq 0,1\%.$$

С учётом численных значений формуле (14) произведём расчёт прочности напряжений, полученных в результате железобетонного прогона. итерационных процедур (см. рис 6), по

$$M_{internal}^2 = \sum \sigma_{bi} A_{bi} y'_{bi} + \sum \sigma_{si} A_{si} y'_{si} =$$

$$= 91,2 \cdot (9,7 \cdot 0,91 + 32,9 \cdot 3,65 + 73,9 \cdot 8,21 + 115 \cdot 12,77 + 156 \cdot 17,33) +$$

$$+ 2800 \cdot 10,17 \cdot 26,89 = 1213298,323 \text{ кг} \cdot \text{см} = 121,33 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$\Delta = \frac{M_{internal}^2 - M_{internal}^1}{M_{internal}^1} 100\% = \frac{121,33 - 114,79}{114,79} \times 100\% = 5,69\%.$$

**Выводы:**

1. Численное сравнение результатов расчётов с отклонением, равное 5,69%, показывают адекватность обоих методов.
2. Для практического применения предлагаемого деформационного метода

для поверочных расчётов конструкций, находящихся в стадии эксплуатации, необходимо проведение более обширных исследований в теоретическом и практическом направлениях.

Библиографический список

1. ГОСТ 27751 – 2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Москва: Издательство стандартов, 2014. – 16 с.
2. ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Москва: Национальный стандарт, 2010. – 24 с.
3. Масленников А.М. Риски возникновения природных и техногенных катастроф: учеб. пособие / А.М. Масленников – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2008. – 165 с.
4. 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.
5. 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, 2017 г., № 1 (60), с. 79-91.
6. СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва, 2004.
7. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с изменениями № 1, 2). Москва.: Минстрой России, 2013.
8. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения (к СП 52-101-2003). – Москва.: ОАО ЦРИИПромзданий, 2005. – 166 с.
9. Александров А. В. Сопротивление материалов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин // Высшая школа 1995, 705 с.
10. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999, 512 с.
11. Байков В. Н. Железобетонные конструкции / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов // Общий курс. Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. – Москва.: Стройиздат, 1985. – 728 с.
12. Бондаренко В. М. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций / В. М. Бондаренко, В. И. Римшин // Учебное пособие. – Москва.: Высш. шк., 2006. – 504 с.

13. 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. Москва : Стройиздат, 1976, 288 с.
14. Мандриков А. П. Примеры расчета железобетонных конструкций: Учеб. пособие для строит. техникумов по спец. «Промышленное и гражданское строительство». – Москва : Стройиздат, 1979. – 419 с.
15. Андрианов, К. А. Расчет усиления конструкций перед реконструкцией и капитальным ремонтом: учебное пособие / К. А. Андрианов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012 – 112 с. – 100 экз. – ISBN 8-978-5-8265-1104-6.

#### References

1. GOST 27751 – 2014. Nadezhnost' stroitel'nykh konstruktsey i osnovaniy. Osnovnye polozheniya [Reliability of building structures and foundations. The main provisions]. Moscow, Publishing House of Standards, 2014. 16 p. (In Russian)
2. GOST 27751-88. Nadezhnost' stroitel'nykh konstruktsey i osnovaniy. Osnovnye polozheniya [Reliability of building structures and foundations. The main provisions]. Moscow, Publishing House of Standards, 2014. 24 p. (In Russian)
3. Maslennikov A.M. Riski vozniknoveniya prirodnykh i tekhnogennykh katastrof: ucheb. Posobie [The risks of natural and man-made disasters: studies. manual]. Saint-Petersburg, SPbSUAC, 2008. 165 p. (In Russian)
4. Morozov V.I., Opbul E. K. Raschet izgibaemykh stalefibrozhelezobetonnykh elementov po nelineynoy deformatsionnoy modeli s ispol'zovaniem opytnykh diagramm deformirovaniya stalefibrobetona [Calculation of bent steel-reinforced concrete elements accordReliability of building structures and foundations. The main provisionsing to a nonlinear deformation model using experimental diagrams of deformation of steel-fiber concrete]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Journal of Civil Engineers]. Saint-Petersburg : SPbSACU, 2016, no. 5, p. 51-55. (In Russian)
5. Opbul E. K., Dmitriev D. A., Vedernikova A. A. Nelineyno-iteratsionnyy raschet prochnosti stalefibrozhelezobetonnykh elementov s ispol'zovaniem opytnykh diagramm deformirovaniya materialov [Nonlinear iterative calculation of the strength of steel-reinforced concrete elements using experimental diagrams of deformation of materials]. Vestnik

- grazhdanskikh inzhenerov [Journal of Civil Engineers]. Saint-Petersburg : SPbSACU, 2017, no. 1, p. 79-91. (In Russian)
6. SNiP 52-01-2003 Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya [Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003 (with amendments No. 1, 2)]. Moscow, 2004. (In Russian)
  7. SP 63.13330.2012. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52-01-2003 (s izmeneniyami № 1, 2) [Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions]. Moscow, Minstroy Rossii, 2013. (In Russian)
  8. Posobie po proektirovaniyu betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy iz tyazhelogo betona bez predvaritel'nogo napryazheniya (k SP 52-101-2003) [Manual on the design of concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete without prestressing (to SP 52-101-2003)]. Moscow, TsRIIPromzdaniy, 2005, 166 p. (In Russian)
  9. Aleksandrov A. V., Potapov V. D., Derzhavin B. P. Soprotivlenie materialov [Resistance of materials]. Vysshaya shkola Publ., 1995, 705 p. (In Russian)
  10. Feodosyev V. I. Soprotivlenie materialov [Resistance of materials]. N. E. Bauman MSTU, 1999, 512 p. (In Russian)
  11. Baykov V. N., Sigalov E. E. Zhelezobetonnye konstruksii. Obshchiy kurs. Uchebnik dlya vuzov. 4-e izd., pererab. [Reinforced concrete structures. General course. Textbook for universities. 4th ed., reprint.]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 728 p. (In Russian)
  12. Bondarenko V. M., Rimshin V.I. Primery rascheta zhelezobetonnykh i kamennykh konstruksiy. Uchebnoe posobie [Examples of calculation of reinforced concrete and stone structures. Textbook]. Moscow, Vysshaya shkola, 2006. 504 p. (In Russian)
  13. Kuvaldin A. N., Klevtsova G. S. Primery rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy zdaniy. Uchebnik. Raschety elementov konstruksiy grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniy. 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]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976, 288 p. (In Russian)
  14. Mandrikov A. P. Primery rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy: Ucheb. posobie dlya stroit. tekhnikumov po spets. «Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo» [Examples of calculation of reinforced concrete structures: Textbook for

builders. technical schools on spec.  
"Industrial and civil engineering"]. Moscow,  
Stroyizdat Publ., 1979, 419 p. (In Russian)

15. Andrianov K. A., Ledenev V. I., Matveeva  
I. V. Raschet usileniy konstruktsiy pered

rekonstruktsiey i kapital'nym remontom:  
uchebnoe posobie [Calculation of structural  
reinforcements before reconstruction and  
major repairs: textbook]. Tambov, Tambov  
St. Tech. Univ. Publ., 112 p. (In Russian)

**Эренчин Аяс Олегович**, магистрант, ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл, Россия, e-mail: [erenchinayas@gmail.com](mailto:erenchinayas@gmail.com)

**Опбул Эрес Кечил-оолович**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, доцент, ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл, Россия, e-mail: [fduesnufce@mail.ru](mailto:fduesnufce@mail.ru)

**Erenchin Ayas Olegovich**, Master's student, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: [erenchinayas@gmail.com](mailto:erenchinayas@gmail.com)

**Opbul Eres Kechil-oolovich**, Candidate of Technical Sciences, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Associate Professor, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: [fduesnufce@mail.ru](mailto:fduesnufce@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 02.02.2024

УДК 62-7

doi 10.24411/2221-0458-2024-48-58

**РЕЖИМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ-САМОСВАЛОВ SCANIA, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА**

*Сандан Н.Т.<sup>1</sup>, Евтюков С.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Тувинский государственный университет, г. Кызыл*

*<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Санкт-Петербург*

**MAINTENANCE MODE OF SCANIA DUMP TRUCKS OPERATING IN THE REPUBLIC OF TUVA**

*N.T. Sandan<sup>1</sup>, S.A. Evtyukov<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Tuvan State University, Kyzyl*

*<sup>2</sup>St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg*

В данной статье рассмотрены способы рациональной организации и планирования работ по техническому обслуживанию (ТО) подвижного состава в автотранспортных предприятиях, где необходимо установить нормативы, позволяющие максимально обеспечить эксплуатационную надежность работы подвижного состава. В целях разработки таких нормативов выполнено исследование эксплуатационной надежности автомобилей-самосвалов Scania за пробег от 0 до 300 тыс. км. По материалам наблюдений разработаны следующие нормативы технического обслуживания: периодичность, перечень операций, трудоемкость, распределение трудоемкости по видам работ, по агрегатам и системам

Ключевые слова: периодичность; техническое обслуживание; эксплуатация; износ; ремонт; безотказность автомобиля

This article reviews the rational organization and planning of maintenance of rolling stock in motor transport enterprises, it is necessary to have standards that allow the maximum possible operational reliability of the rolling stock. In order to develop such standards, a study of the

operational reliability of Scania dump trucks for a mileage from 0 to 300 thousand km was carried out. Based on the materials of observations, the following maintenance standards have been developed: frequency, list of operations, labor intensity, distribution of labor intensity by types of work, by aggregates and systems

Keywords: frequency; maintenance; operation; wear; repair; reliability of the car

### **Введение**

Регламент технического обслуживания Scania является основанием для планирования периодического обслуживания автомобилей. Поскольку условия эксплуатации автомобилей изменяются, очень важно, чтобы клиент и сервисная станция совместно разработали программу обслуживания, которая была бы максимально адаптирована к конкретным условиям. Фирма Скания поставляет специальную компьютерную программу (Scania Main), предназначенную для планирования технического обслуживания, расчета стоимости и создания специальных форм отчетов о техническом обслуживании, приспособленных к конкретной спецификации автомобиля [14].

### **Методы**

При исследовании эксплуатационной надежности, которое проводилось в Республике Тыва автотранспортном предприятии № 1, под наблюдение был взят автомобиль-самосвал Scania.

Автомобиль-самосвал Scania обслуживалась с периодичностью ТО-1

через 20000 км пробега и ТО-2 через 120000 км пробега, что примерно соответствовало рекомендациям «Инструкции по эксплуатации автомобиля Scania Санкт-Петербургского автомобильного завода ООО "Скания-Русь" [14].

### **Результаты**

При исследовании эксплуатационной надежности учитывались отказы, возникающие между очередными техническими обслуживаниями, а также отказы, обнаруженные и устраненные во время проведения технических обслуживаний.

Рациональная периодичность технического обслуживания определялась путем сравнения вышеуказанных: безотказность автомобиля в целом; безотказность агрегатов и узлов, обеспечивающих безопасность движения автомобиля; непроизводительные потери рабочего времени из-за простоя автомобиля по техническим причинам; затраты на выполнение технического обслуживания и текущего ремонта [8-10]. Основные результаты выполнения исследования приведены в табл. 1-3.

Таблица 1 – Темпы прироста количества отказов по интервалам пробега [1]

Пробег автомобиля, тыс. км	В том числе по времени обнаружения	
	между ТО	при ТО
0-100	19,1	12,2
100-200	53,4	26,0
200-300	45,7	22,6

Таблица 2 – Среднее количество отказов одного автомобиля, влияющих на безопасность движения, возникших между техническими обслуживаниями [2-3]

Пробег автомобиля, тыс. км	Автомобиль Scania
0-100	10,0
100-200	27,1
200-300	22,5
0-300	59,6

Таблица 3 – Показатели режимов ТО при пробеге автомобилей Scania [7]

Показатели	Автомобиль Scania		
	Пробег, тыс. км		
	0-100	100-200	200-300
Простой, дни	17,5	31,9	51,8
Коэффициент технической готовности	0,950	0,912	0,865
Возможный пробег за дни простоя, тыс. км	5,25	9,57	15,54

Особенно это различие отразилось в интервале от 100 до 200 тыс. км пробега. Анализ причин возникновения отказов показал, что в этот период эксплуатации автомобилей отказы возникают главным

образом в результате износа деталей [1, 8, 9, 10, 11].

Следовательно, обеспечив предупреждение износных отказов деталей, при режиме ТО автомобилей снижает

количество отказов, возникающих между техническими обслуживаниями, в том числе количество отказов агрегатов и узлов, обеспечивающих безопасность движения автомобиля (табл. 2) [2, 3, 12].

Отказы, возникающие между техническими обслуживаниями, приводят к непроизводительным потерям рабочего времени автомобилей от простоев по техническим причинам, которые можно оценить в виде возможной выручки за время этих простоев (см. табл. 3) [7].

Эффективность режимов технического обслуживания автомобилей Scania определялась путем сравнения затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт и непроизводительных потерь от простоев по техническим причинам по формуле [18]:

$$\mathcal{E} = (O_a - C_6) + (P_a - P_6), \quad (1)$$

Рекомендуемая в качестве норматива рациональная периодичность технического обслуживания автомобиля приведена в табл. 4.

Таблица 4 – Рекомендуемые периодичность и трудоемкость технического обслуживания автомобиля (для I категории условий эксплуатации) [20]

Показатели	Виды технического обслуживания		
	ТО-1	ТО-2	ЕО
Периодичность, км	4000	16000	0,35
Трудоемкость, чел.-ч.	2,5	10,5	

Перечни операций технического обслуживания разработаны для каждого вида обслуживания на основании материалов наблюдений за фактической потребностью в выполнении этих операций.

Исходный перечень был разработан на основании рекомендаций «Инструкции по эксплуатации автомобилей Scania» Санкт-Петербургского автомобильного завода, первой части «Положения о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта», а

также по результатам анализа опыта работ по техническому обслуживанию на автотранспортных предприятиях.

В разработанный перечень включались операции, коэффициент повторяемости которых был не менее 0,15, и операции, выполнение которых обеспечивало безопасность движения автомобиля [19].

Трудоемкость технического обслуживания определилась хронометрированием основного времени операций, учетом

коэффициентов повторяемости, а также подготовительно-заключительного и дополнительного времени.

Примерное распределение трудоемкости технических обслуживаний по видам

работ, по агрегатам и системам, рекомендуемое для целей планирования, приведено в табл. 5 [4, 5, 20].

Таблица 5 – Распределение трудоемкости технических обслуживаний: по агрегатам и системам, %

Наименование агрегата или системы	Виды технического обслуживания	
	ТО-1	ТО-2
Двигатель с системами смазки, охлаждения и выпуска газов	19,0	13,0
Система питания	5,8	3,8
Сцепление	2,1	2,5
Коробка передач	2,3	2,5
Карданная передача и задний мост	2,8	3,0
Подвеска	20,8	9,0
Поворотные цапфы и рулевое управление	12,7	6,3
Колеса и ступицы	10,8	11,0
Тормозные системы	4,6	9,0
Электрооборудование и приборы	8,7	6,2
Кузов и оперение	10,4	33,7
Итого:	100	100

Из данных таблицы 5 следует, что при выполнении ТО-1 наибольшую долю от трудоемкости этого вида обслуживания составляют работы по обслуживанию ходовой части автомобиля (48,9%) и двигателя с системами смазки, питания, выпуска газов и охлаждения (24,8%), а при

выполнении ТО-2 – работы по обслуживанию ходовой части и кузова с оперением соответственно 35,6 и 33,7% от общей трудоемкости ТО-2 [6, 20].

Рекомендуемые в статье нормативы технического обслуживания самосвал-автомобилей Scania (см. табл. 4 и 5)

согласованы с автомобильным заводом и включены во вторую (нормативную) часть [13, 14, 16, 17].

### **Выводы**

В настоящее время объем и периодичность технического обслуживания зависят от условий эксплуатации двигателя автомобиля. Оптимальная программа обслуживания должна учитывать оба этих фактора. По этой причине используются различные типовые условия эксплуатации. Тип условий эксплуатации определяет интервал и содержание каждого технического обслуживания.

Целью рационально-организованного ТО автомобилей-самосвалов Scania, является получение от них наибольшего

производственного эффекта, под которым понимается:

- наивысшая производительность;
- наибольший срок службы вообще и между ремонтами в частности;
- наименьшие затраты при работе ресурсов различных видов.

Перед каждым рейсом водитель должен убедиться в отсутствии неисправностей автомобиля, влияющих на безопасность движения. Особенно внимательно должны быть проверены тормозная система, рулевое управление, колеса, шины и подвеска.

Техническое обслуживание имеет жизненно важное значение для обеспечения оптимального срока службы автомобилей Scania.

### **Библиографический список**

1. 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. – 2018. – № 3 (68). – С. 161-165.
2. Сандан, Н.Т., Максимов С.Е., Горшков В.Н., Дружинин П.В. Возраст наземных транспортно-технологических машин как фактор влияния на интенсивность отказов / Н.Т. Сандан, С.Е. Максимов,

- В.Н. Горшков, П.В. Дружинин // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 3 (62). – С. 207-210.
3. Сандан, Н.Т., Евтюков С.А., Монгуш С.Ч. Влияние морального износа на сроки службы машин / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, С.Ч. Монгуш // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 1. № 12. – С. 114-118.
4. Сандан, Н.Т. Контролепригодность и методы определения технического состояния наземных транспортно-технологических машин / Н.Т. Сандан,

- В.В. Конгар-оол, С.А. Евтюков, Ю.Ф. Кайзер, Н.С. Борбак-оол // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 10. – С. 462-468.
5. Евтюков, С.А. Особенности эксплуатации парков машин в условиях низких температур / С.А. Евтюков, Н.Т. Сандан // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 2 (55). – С. 186-191.
6. Сандан, Н.Т. Управление технической эксплуатацией транспортных средств: монография / Н.Т. Сандан, Л.С. Чеглакова, С.А. Евтюков – Санкт-петербург: ООО ИД «Петрополис», 2020. – С. 352.
7. Сандан, Н.Т. Теория эксплуатационной надежности машин: лекционный курс / Н.Т. Сандан, И.С. Брылев, С.А. Евтюков – Санкт-Петербург: ООО ИД «Петрополис», 2020. – С. 203.
8. Черняев, И.О. Способ оперативной индивидуальной корректировки периодичности технического обслуживания автотранспортных средств / И.О. Черняев, С.А. Воробьев, С.А. Евтюков // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 2 (79). – С. 202-207.
9. Евтюков, С.А. Методология управления рациональным сроком службы автомобиля / С.А. Евтюков, А.В. Терентьев, Г. Гинзбург // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 1 (56). – С. 3-10.
10. Виноградов, В.М. Организация производства технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей: Учебное пособие / В.М. Виноградов. – М.: Академия. – 2018. – С. 112.
11. Власов, В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебник / В.М. Власов. – М.: Academia. – 2019. – С. 672.
12. Гладов, Г.И. Текущий ремонт различных типов автомобилей. В 2 ч. Ч. 2: Грузовые автомобили большой грузоподъемности: Учебник / Г.И. Гладов, М.П. Малиновский. – М.: Academia. – 2018. – С. 158.
13. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт. – 2008. – С. 272.
14. Инструкция SCANIA 94, 114, 124, 144, 164 с 1995 PRT (СКАНИЯ ПРТ) Пособие по ремонту
15. Евтюков, С.А. Влияние условий местности на техническую эксплуатацию и формирование автомобильных парковок / С.А. Евтюков, О.А. Чуду //

- Вестник инженеров-строителей. – 2015. – № 3 (50). – С. 239-243.
16. Терентьев, А.В. Анализ методов определения показателей технической эксплуатации автомобилей / А.В. Терентьев, М.Ю. Карелина, В.А. Клименко // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 3 (74). – С. 3-8.
17. Арифиллин, И.В. Метод оценки качества эксплуатации автотранспортных средств / И.В. Арифиллин, А.В. Терентьев, А.А. Аллакин // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2018. – № 11. – С. 58-61.
18. Кирьенко, Д.К. Влияние непланового текущего ремонта на рациональный срок службы автотранспортного средства / Д.К. Кирьенко, А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 4 (57). – С. 178-182.
19. Терентьев, А.В. Методика расчета производственной программы по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава, регламенты которого не предусматривают капитальный ремонт / А.В. Терентьев, Н.А. Ртищев, Р.Р. Амирханов // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 3. № 4. – С. 43-48.
20. Прудовский, Б.Д. Методы анализа показателя «трудоемкость» текущего ремонта / Б.Д. Прудовский, А.В. Терентьев // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 1 (42). – С. 117-120.

#### References

1. Sandan N.T., Yevtyukov S.A., Repin S.V. Vliyanie iznosa na izmenenie ekspluatatsionnykh svoystv nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin v protsesse ekspluatatsii [The effect of wear on the change in the operational properties of ground transport and technological machines during operation]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Journal of Civil Engineers]. 2018. No. 3 (68). Pp. 161-165. (In Russian)
2. Sandan N.T., Maximov S.E., Gorshkov V.N., Druzhinin P.V. Voзраст nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin kak faktor vliyaniya na intensivnost' otkazov [Age of ground transport and technological machines as a factor influencing the failure rate]. 2017. No. 3 (62). Pp. 207-210. (In Russian)
3. Sandan N.T., Yevtyukov S.A., Mongush S.C. Vliyanie moral'nogo iznosa na sroki sluzhby mashin [The influence of moral wear on the service life of machines]. Successes of modern science. 2017. Vol. 1. No. 12. P. 114-118. (In Russian)

4. Sandan N.T., Kongar-ool V.V., Yevtyukov S.A., Kaiser Yu.F., Borbak-ool N.S. Kontroleprigodnost' i metody opredeleniya tekhnicheskogo sostoyaniya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin [Controllability and methods for determining the technical condition of ground transport and technological machines]. *Izvestiya of Tula State University. Technical sciences.* 2020. No. 10, pp. 462-468. (In Russian)
5. Evtyukov S.A., Sandan N.T. Osobennosti ekspluatatsii parkov mashin v usloviyakh nizkikh temperature [Features of the operation of car parks at low temperatures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Journal of Civil Engineers].* 2016. No. 2 (55). Pp. 186-191. (In Russian)
6. Sandan N.T., Cheglakova L.S., Yevtyukov S.A. Upravlenie tekhnicheskoy ekspluatatsiey transportnykh sredstv: monografiya [Management of technical operation of vehicles: monograph]. St. Petersburg, LLC Publishing house of Petropolis, 2020, p. 352. (In Russian)
7. Sandan N.T., Brylev I.S., Evtyukov S.A. Teoriya ekspluatatsionnoy nadezhnosti mashin: leksionnyy kurs [Theory of operational reliability of machines: course of lectures]. St. Petersburg, LLC Publishing house of Petropolis, 2020, p. 203. (In Russian)
8. Chernyaev I.O., Vorobyov S.A., Yevtyukov S.A. Sposob operativnoy individual'noy korrektyrovki periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtotransportnykh sredstv [A method of operational individual adjustment of the frequency of maintenance of motor vehicles]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Journal of Civil Engineers].* 2020. No. 2 (79). Pp. 202-207. (In Russian)
9. Yevtyukov S.A., Terentyev A.V., Ginzburg G. Metodologiya upravleniya ratsional'nym srokom sluzhby avtomobilya [Methodology of rational vehicle service life management]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin [The world of transport and technological machines].* 2017. No. 1 (56). Pp. 3-10. (In Russian)
10. Vinogradov V.M. Organizatsiya proizvodstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya i tekushchego remonta avtomobiley: Uchebnoe posobie [Organization of production of maintenance and current repair of cars: Textbook]. Moscow, Academy Publ., 2018, p. 112. (In Russian)
11. Vlasov V.M. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobiley: Uchebnik [Maintenance and repair of cars: Textbook]. Moscow, Academia Publ., 2019, p. 672. (In Russian)
12. Gladov G.I., Malinovsky M.P. Tekushchiy remont razlichnykh tipov avtomobiley. V 2

- ch. Ch. 2: Gruzovye avtomobili bol'shoy gruzopod'emnosti: Uchebnik [Maintenance of various types of cars. At 2 p.m. 2: Heavy-duty trucks: Textbook]. Moscow, Academia, 2018, p. 158. (In Russian)
13. Kuznetsov E.S. Upravlenie tekhnicheskoy ekspluatatsiyey avtomobiley [Management of technical operation of cars]. Moscow, Transport Publ., 2008, p. 272. (In Russian)
14. SCANIA Instruction 94, 114, 124, 144, 164 since 1995 PRT (SCANIA PRT) Repair Manual (In Russian)
15. Yevtyukov S.A., Choodu O.A. Vliyanie usloviy mestnosti na tekhnicheskuyu ekspluatatsiyu i formirovanie avtomobil'nykh parkovok [The influence of terrain conditions on the technical operation and formation of parking lots]. [Journal of Civil Engineers]. 2015. No. 3 (50). Pp. 239-243. (In Russian)
16. Terentyev A.V., Karelina M.Yu., Klimenko V.A. Analiz metodov opredeleniya pokazateley tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley [Analysis of methods for determining indicators of technical operation of cars]. Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin [The world of transport and technological machines. – 2021. – № 3 (74). – Pp. 3-8.
17. Arifullin I.V., Terentyev A.V., Allakin A.A. Metod otsenki kachestva ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv [Method of assessing the quality of operation of motor vehicles]. Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik [Transport: science, technology, management. Scientific information collection]. 2018. No. 11. pp. 58-61. (In Russian)
18. Kiryenko D.K., Terentyev A.V. Vliyanie neplanovogo tekushchego remonta na ratsional'nyy srok sluzhby avtotransportnogo sredstva [The influence of unplanned maintenance on the rational service life of a motor vehicle]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Journal of Civil Engineers]. 2016. No. 4 (57). P. 178-182. (In Russian)
19. Terentyev A.V., Rtischev N.A., Amirkhanov R.R. Metodika rascheta proizvodstvennoy programmy po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i tekushchemu remontu podvizhnogo sostava, reglamenty kotorogo ne predusmatrivayut kapital'nyy remont [Methodology for calculating the production program for maintenance and current repair of rolling stock, the regulations of which do not provide for major repairs]. Uspekhi sovremennoy nauki [Successes of modern science]. 2016. Vol. 3. No. 4. pp. 43-48. (In Russian)
20. Prudovsky B.D., Terentyev A.V. Metody analiza pokazatelya «trudoemkost'»

tekushchego remonta [Methods of analyzing the indicator "labor intensity" of current repairs]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov

[Journal of Civil Engineers]. 2014. No. 1 (42). Pp. 117-120. (In Russian)

**Сандан Нелли Тимуровна**, старший преподаватель кафедры транспортно-технологических средств, ФГБОУ ВО “Тувинский государственный университет”, г. Кызыл, Россия, e-mail: sandan.nelli@yandex.ru

**Евтюков Сергей Аркадьевич**, доктор технических наук, профессор кафедры наземных транспортно-технологических машин, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: s.a.evt@mail.ru

**Nelly Timurovna Sandan**, Senior Lecturer at the Department of Transport and Technological Means, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: sandan.nelli@yandex.ru

**Sergey Arkadyevich Evtjukov**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Land Transport and Technological Machines, St. Petersburg State University, St. Petersburg, e-mail: s.a.evt@mail.ru

Статья поступила в редакцию 1.03.2024

**УДК 62-9**

**doi 10.24411/2221-0458-2024-59-78**

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРАНСМИССИЙ  
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН С БАРОВЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ**

*Орловский С.Н.<sup>1</sup>, Долматов С.Н.<sup>2</sup>, Саая С.Ш.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, г. Красноярск*

*<sup>2</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф.*

*Решетнёва, г. Красноярск*

*<sup>3</sup>Тувинский государственный университет, г. Кызыл*

**METHODOLOGY FOR ASSESSING THE DYNAMIC PROPERTIES OF  
TRANSMISSIONS OF FORESTRY MACHINES WITH A BAR WORKING BODY**

*S.N. Orlovskiy<sup>1</sup>, S.N. Dolmatov<sup>2</sup>, S.Sh. Saaya<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk*

*<sup>2</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk*

*<sup>3</sup>Tuvan State University, Kyzyl*

В исследованиях говорится об особенностях отвальной и фрезерной обработки почвы. Однако анализ современных тенденций в области обработки почвы, позволяет сделать вывод том, что в настоящее время особое внимание уделяется снижению энергоёмкости процесса обработки. Лесохозяйственные машины с баровыми рабочими органами имеют несомненные преимущества перед отвальными и фрезерными, поскольку в процессе своей работы имеют гораздо меньшие затраты мощности.

Решение проблемы может быть найдено посредством аккумуляции кинетической энергии динамической системы агрегата в его вращающихся массах для преодоления перегрузок значительной (3- 5 с) длительности. Анализ динамических моделей машинно-тракторных агрегатов показал, что наиболее распространёнными являются модели в виде сложных многомассовых крутильных динамических систем.

Рассматривались две схемы трансмиссий- цепочная (привод гусеничных движителей от двигателя) и разветвлённая, когда мощность двигателя передаётся на привод гусениц и через вал отбора мощности (далее по тексту- ВОМ) на привод барового рабочего органа орудия в виде дисковых и торцовых фрез. При рассмотрении цепочных схем с несколькими вариантами

маховиков и пассивными рабочими органами значительные амплитуды колебаний в трансмиссиях проявлялись в области собственных частот, а резонансные явления при совпадении частот вынужденных колебаний с собственными.

Расчёты показали, что возрастание момента инерции маховика двигателя трактора в 3,14 раза не оказывает значительного влияния на изменение собственных частот колебаний в трансмиссии привода движителей, а вызывает уменьшение их в 1,4 раза. Отсюда следует, что при изменении моментов инерции вращающихся масс надо анализировать колебания, возникающие в разветвлённых трансмиссиях с активными баровыми рабочими органами со значительными моментами инерции. Для определения их оптимальных параметров можно использовать представленные математические модели.

Ключевые слова: перегрузки; кинетическая энергия; инерционность; оптимизация; динамика трансмиссии; частоты колебаний; моделирование; баровая машина

The article reviews the features of moldboard and milling tillage. An analysis of modern trends in the field of tillage allows us to conclude that special attention is paid to reducing the energy intensity of the tillage process. Forestry machines with bar working bodies have unreliable advantages over moldboard and milling machines, since during their operation they require much less power. A solution to the problem can be found by accumulating the kinetic energy of the dynamic system of the unit in its rotating masses to overcome overloads of significant (3-5 s) duration. Analysis of dynamic models of machine and tractor units showed that the most common are models in the form of complex multi-mass torsional dynamic systems.

Two transmission schemes were considered - chain (drive of tracked propulsion from the engine) and branched, when engine power is transmitted to the drive of the tracks and through the power take-off shaft (hereinafter referred to as the PTO) to the drive of the bar working body of the implement in the form of disk and end mills. When considering chain circuits with several variants of flywheels and passive working bodies, significant amplitudes of oscillations in transmissions appeared in the region of natural frequencies, and resonance phenomena when the frequencies of forced oscillations coincided with natural ones.

Calculations have shown that an increase in the moment of inertia of the tractor engine flywheel by 3.14 times does not have a significant effect on the change in the natural frequencies of oscillations in the propulsion drive transmission, but causes them to decrease by 1.4 times. It follows that when the moments of inertia of rotating masses change, it is necessary to analyze the vibrations that occur

in branched transmissions with active bar working bodies with significant moments of inertia. To determine their optimal parameters, you can use the presented mathematical models.

Keywords: overloads; kinetic energy; inertia; optimization; transmission dynamics; oscillation frequencies; modeling; bar machine

**Введение.** Основным критерием при выполнении мелиоративных работ сопровождается значительными колебаниями нагрузки при преодолении корневых и пнистых включений. При этом происходит переход работы двигателя на безрегуляторную ветвь его внешней характеристики, что вызывает необходимость определения рациональной степени его загрузки с учётом соответствий динамической реакции агрегата на перегрузки динамики сил сопротивления на рабочем органе [3, 9, 21].

При работе агрегата с оптимальной скоростью значение динамической реакции возрастает и за счёт более полного использования кинетической энергии для преодоления участков перегрузки его производительность возрастает.

На этапе проектирования современных лесохозяйственных мелиоративных тракторов совмещают с отечественными машинами ряд дополнительных узлов. Однако эти изменения преследуют собой лишь цели обеспечения пониженных скоростей, не учитывая существенных отличий условий

работы тракторных агрегатов при выполнении мелиоративных работ.

Специфические условия эксплуатации агрегатов, особенно при строительстве осушительных систем на заболоченных лесных почвах, определяют новые требования и массе трактора, его мощностным и динамическим характеристикам, тягово-сцепным свойствам, ходовому аппарату и компоновочной схеме.

При создании лесохозяйственных агрегатов для этой цели можно изменять в соответствии с расчётами значения мощности двигателя, моменты инерции маховика или барового исполнительного рабочего органа, а также скорости движения. Повышение мощности двигателя трактора всегда обеспечит повышение производительности агрегата, но значение его коэффициента загрузки  $K_z$  останется низким. Необходимо достигнуть расчётным путём оптимального сочетания всех варьируемых параметров агрегатов, что обеспечит рост их производительности, КПД и снижение расхода топлива на объём работ [9, 18].

При изменении энергетических и динамических параметров агрегата изменяются возмущающие силы, воздействующие на трансмиссию агрегата, возбуждая крутильные колебания в многомассовой динамической системе.

Для расчётов свободных колебаний систем с различными моментами инерции маховика двигателя и активного рабочего органа в виде барового исполнительного рабочего органа для прорезания дренажных щелей в торфяной залежи с включениями в виде пней и захороненной древесины были составлены алгоритм и программа решения системы дифференциальных уравнений на основе метода Рунге – Кутта в системе MathCAD с применением функций *eigenvals* (M). По алгоритму нахождения передаточных функций были проведены расчёты амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) динамических систем агрегатов [10, 11].

АЧХ для цепочной и разветвлённой схемы трансмиссии при использовании орудий с приводом от ВОМ находились для оценки работы динамики тракторных агрегатов. Выводы изменения нагрузок в зависимости от изменения передаточных чисел, наблюдаемые в данных расчетах, подтверждаются и при расчете нагрузок, как результат вынужденных колебаний

вращающихся деталей трансмиссии от возмущающих воздействий [1, 2, 4].

Модернизации агрегата посредством изменения момента инерции вращающихся масс агрегата должна выполняться в первую очередь у активных баровых рабочих органов посредством изменения моментов инерции, а маховик двигателя не подлежит изменению, так как это требует модернизации трактора.

Можно отметить, что при работе лесохозяйственных агрегатов в условиях стабильных или стабильно-переменных сил сопротивления для определения их оптимальных параметров целесообразно использовать математические модели.

Также они позволяют обосновать агрегатирование лесохозяйственного трактора и щелерезных орудий с активными баровыми рабочими органами в направлении выбора их масс и моментов инерции с целью исключить возникновение резонансных явлений в трансмиссиях, которые могут вызвать поломки или преждевременные износы.

**Цель исследования** – исследовать оптимальные энергетические и динамические параметры лесохозяйственных машин методом Рунге – Кутта в системе MathCAD с применением функций *eigenvals*.

**Предмет исследования.** Предмет исследования – показатели, определяющие работоспособность агрегатов лесохозяйственных машин в процессе осушения и прорезании древесины. Составлены алгоритм и программа решения системы дифференциальных уравнений на основе метода Рунге – Кутта в системе MathCAD с применением функций *eigenvals*. По алгоритму нахождения передаточных функций были проведены расчёты амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) динамических систем агрегатов.

**Постановка задачи.** Задача заключается в получении областей изменения факторов, приводящих к оптимальному решению этой проблемы. Для тракторного агрегата, работающего на полосной подготовке почвы под посадку деревьев скорость движения следует определять из предпосылки, что длительность перегрузки, превышающей крутящий момент, развиваемый двигателем трактора, должна соответствовать оптимальному времени отдачи маховиком двигателя аккумулярованной кинетической энергии. Для этого необходимо определить соответствующую этому требованию рабочую скорость агрегата [3, 5, 9].

## **Результаты и их обсуждение**

Объектами исследований являются лесохозяйственные и лесомелиоративные трактора, различающиеся по своей конструкции, мощности двигателей и динамическим параметрам, конструкциями движителей и компоновке. При работе названных агрегатов коэффициент загрузки  $K_z$  их двигателей должен быть близок к значению 0,9. Однако при выполнении основных энергоёмких работ в лесном хозяйстве  $K_z$  остаётся значительно более низким, что свидетельствует о нерациональном использовании энергии ввиду несоответствия динамики внешних условий динамическим характеристикам агрегатов [7, 8, 9].

В лесном хозяйстве при выполнении основных энергоёмких работ, связанных с подготовкой почвы и полосной расчисткой малоценных насаждений, длительность колебаний нагрузки составляет 3 - 5 с. Это приводит к переходу работы двигателя на безрегуляторную ветвь внешней характеристики, снижению частоты вращения коленчатого вала двигателя ниже допустимых и, как следствие, необходимости выполнения технологического процесса при невысоких (0,5 - 0,6) значениях коэффициента его загрузки [9, 19].

Преодоление перегрузок возможно, как за счет запаса мощности двигателя агрегата, так и за счет накопленной во вращающихся массах кинетической энергии. Работа двигателя с определенным запасом мощности приводит к снижению коэффициента его загрузки, то есть снижению тягового КПД агрегата. В то же время аккумулярование кинетической энергии во вращающихся массах агрегата и, в частности, в рабочем органе, позволяет преодолевать участки с повышенной энергоемкостью. В случаях перегрузок, когда максимальный момент сопротивления превосходит расчетные значения крутящего момента, развиваемого двигателем, происходит снижение угловой скорости и баланс моментов на валу двигателя поддерживается за счет отдачи кинетической энергии инерционными массами агрегата. Скорость движения агрегата при работе в условиях неустановившихся режимов нагрузок должна соответствовать преодолению временных увеличений нагрузки за оптимальное время, в течение которого агрегат способен наиболее эффективно отдавать аккумулярованную энергию. Поскольку момент инерции вращающихся агрегата складывается из моментов масс трактора, значение оптимального момента инерции агрегата можно варьировать

широких пределах. Конструктивно это достигается изменением момента инерции фрезы, что позволяет получить оптимальные, с точки зрения использования мощности двигателя, параметры агрегата.

Значения возможной отдачи кинетической энергии определяются величиной динамической реакции системы на вынужденные перегрузки (динамика агрегата)  $K_{cp.ont.}$ , которая определяет способность двигателя трактора вместе с приведёнными к его валу инерционными массами динамической системы агрегата преодолевать участки перегрузки за счёт возрастания крутящего момента от действия инерционных сил с учётом коэффициента приспособляемости (текущее значение)  $K'_n$  [9].

$$K_{cp.ont.} = \frac{M_{c.sp.}^{max}}{M_e} \text{ или } K = K'_n + \frac{J_{\Sigma} \cdot \xi_{n,n-1}}{M_e}, \quad (1)$$

где  $M_{c.sp.}^{max}$  - момент сопротивления на участке перегрузки (максимальное значение);  $J_{\Sigma}$  - приведённый к коленчатому валу двигателя момент инерции;  $\xi_{n,n-1}$  - угловое ускорение коленчатого вала за  $n$ -ную секунду действия перегрузки;  $M_e$  - крутящий момент, развиваемый двигателем трактора.

Расчёт  $K_{cp.ont.}$  может выполняться по специальным программам на ПЭВМ [9 - 11]. Влияние сил сопротивления на рабочих органах от неоднородности

разрабатываемой среды можно охарактеризовать коэффициентом динамичности  $K_{д.ср.}$  и длительностью  $\tau$  участка повышенной нагрузки. Регистрация этих значений производилась автором при работе тракторного агрегата в реальных производственных условиях с записью на осциллограммы значений крутящего момента на валу двигателя и времени опыта. Для участков перегрузки определялись корреляционные зависимости  $K_{д.ср} = f(\tau)$  и  $\tau = f(K_{д.ср})$ . В характеристику агрегата было введено понятие коэффициента соответствия динамических параметров агрегата динамике внешних условий  $K_c = K_{ср.опт.}/K_{д.ср.}$ , который для большинства лесохозяйственных и лесомелиоративных агрегатов, не превышает 0,7.

Приращение крутящего момента от инерционных сил за 0,5 секунды действия импульса нагрузки составят из выражения

$$\Delta M_{0,5} = J \frac{w_p - w_m}{\tau j}$$

для 0,5 сек. действия импульса.

Из выражений

$$K^I m = 1 + (k_m - 1) \frac{w_p - w}{w_p - w_m}$$

$$\tau_I = J \frac{w_p - w}{w_p - w_m}$$

$$\Delta M_j = \frac{J(w_p - w_m)}{\tau_1}$$

$$\Delta \omega = (\omega_p - \omega_m) \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{\omega m}}}\right)$$

где  $\omega$  – текущее значение угловой скорости;

$\omega_m$  = угловая скорость при  $K_{м.макс.}$

На рисунке 1 представлены графики зависимостей  $K_c = f(\tau)$  для различных по жёсткости условий работы. Из графиков следует, что с ростом жёсткости динамической составляющей и длительности участков перегрузок кривая зависимости  $K_c = f(\tau)$  имеет тенденцию к снижению. Динамическая реакция и  $K_c$  возрастают при увеличении приведённого момента инерции, коэффициента приспособляемости, перепада угловой скорости коленчатого вала и снижается при увеличении мощности двигателя [9, 12, 13].

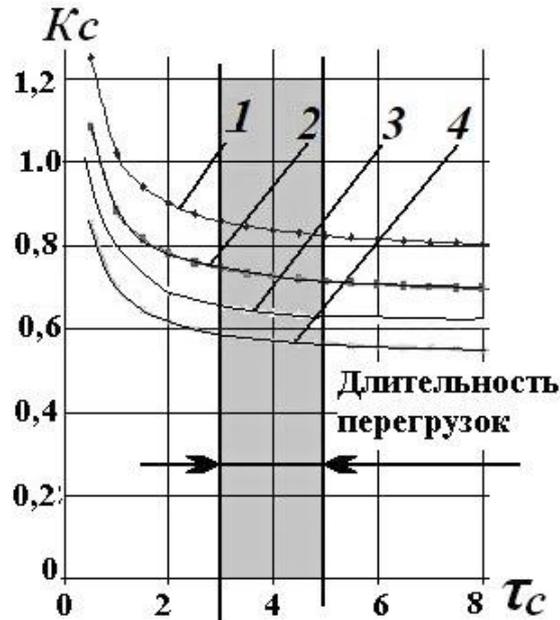


Рисунок 1. Зависимость  $K_c = f(\tau)$  для:

1 -  $K_{д.ср} = 1,3$ ; 2 -  $K_{д.ср} = 1,5$ ; 3 -  $K_{д.ср} = 1,7$ ;

Оптимизация энергетических и динамических параметров агрегата может быть выполнена на основании уравнений [9, 20]:

$$K_{з.опт.} = 1 - (K_{д.ср.} - K_{ср. опт.}), \quad (2)$$

$$V_{онм} \cdot t_{онм} = V_{д} \cdot t_{д}, \quad (3)$$

$$N_{е.онм} = \frac{N_{д} \cdot V_{опт.}}{K_{з.опт.} \cdot V_{д}} \cdot K_{и}, \quad (4)$$

$$J_{\Sigma.онм.} = \frac{[K_{д.ср.} - (1 - K_{з.опт.}) - K_{п'}] \cdot M_{е} \cdot t_{опт}}{\Delta\omega_{опт}} \quad (5)$$

где  $K_{з.опт.}$ ,  $V_{онм}$ ,  $V_{д}$ ,  $V_{опт.}$ ,  $N_{е.онм}$ ,  $\Delta\omega_{онм}$ , - оптимальные значения  $K_z$ , скоростей движения, мощности двигателя, снижения угловой скорости коленчатого вала;  $N_{д}$ ,  $V_{д}$  -

действительные (из опыта) значения затрат мощности и скорости движения.

Оптимизируя энергетические и динамические параметры агрегата по выражениям (2-5), для конкретного агрегата, работающего при неустановившейся нагрузке, можно определить, что расчётные значения оптимального момента инерции вращающихся масс  $J_{\Sigma.онм.}$  превышают существующие на 83 %. Повышение эксплуатационных показателей тракторных агрегатов должно заключаться в одновременном подборе их энергетических, динамических и скоростных параметров [9, 15].

При изменении названных выше параметров агрегата изменятся и возмущающие силы, действующие на трансмиссию агрегата, возбуждая крутильные колебания в его многомассовой динамической системе. При этом возникает проблема возможности возникновения резонансных колебаний в его трансмиссии. При расчётах в настоящее время

используются динамические модели трансмиссий и машинно-тракторных агрегатов в целом в виде крутильных колебательных систем. Для агрегатов типа барового исполнительного рабочего органа с приводом от ВОМ трактора необходимо рассматривать разветвлённые десяти-массовые системы (Рисунки 2 А, Б).

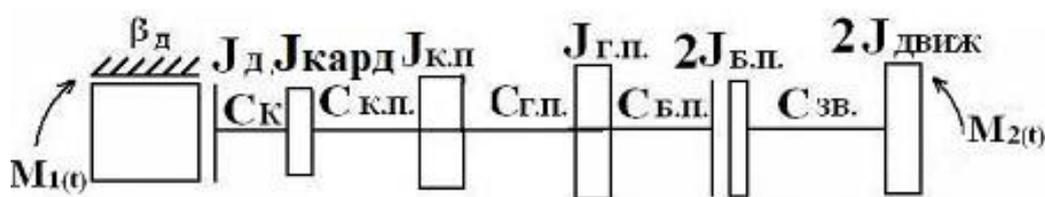


Рисунок 2.А – 6-массовая эквивалентная динамическая схема

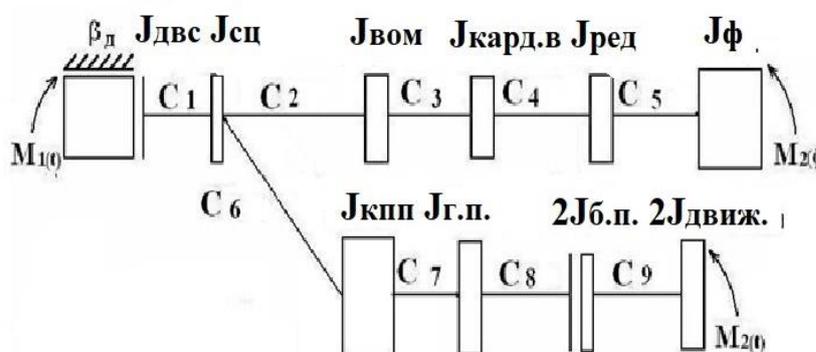


Рисунок 2.Б Разветвлённая 10-массовая эквивалентная динамическая схема системы

Введя обозначения дифференциального уравнения

$$a_k = -(b_k \cdot s + c_k), \quad d_k = J_k \cdot s^2 + (b_{k-1} + b_k) \cdot s + c_{k-1} + c_k,$$

найдем определитель  $D_{kn}$  трёхдиагональной матрицы по рекуррентной формуле

$$D_{kn} = d_k \cdot D_{k+1n} - a_k^{2k+1} \cdot D_{k+2n},$$

$$D_{kk} = d_k, \quad k = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Преодоление агрегатом увеличений нагрузки, превышающих расчетный крутящий момент двигателя, приведенный к агрегату, возможно по следующей формуле:

$$1. \Delta = D_{1n}; \quad (7)$$

2.

$$\begin{aligned} \Delta = & D_{1k+m} \cdot D_{k+m+1n} - a_{k+m+1}^2 \cdot D_{1k-1} \cdot D_{k+1k+m} \cdot \\ & D_{k+m+2n} - a_{k+m}^2 \cdot D_{1k+m-1} \cdot D_{k+m+1k+2m} \cdot \\ & \cdot D_{k+2m+2n} + a_{k+m}^2 \cdot a_{k+m+1}^2 \cdot D_{1k-1} \cdot D_{k+1k+m} \cdot \\ & D_{k+m+2k+2m} \cdot D_{k+2m+2n} - 2 \cdot D_{1k-1} \cdot a_k \cdot a_{k+1} \cdot \\ & \dots \cdot a_{k+2m+1} \cdot D_{k+2m+2n}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$a) \Delta = D_{1k+m} \cdot D_{k+m+1k+2m} - a^{2k+m} \cdot$$

$$D_{1k-1} \cdot D_{k+1k+m} \cdot D_{k+m+2k+2m}; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} б) \Delta = & D_{1k+m} \cdot D_{k+m+1k+m+1} - \\ & a^{2k+m} \cdot D_{1k-1} \cdot D_{k+1k+m} \cdot D_{k+m+2k+m+1}. \end{aligned} \quad (10)$$

На основании изложенного, произведём расчёт передаточных функций для крутящих моментов на валах трансмиссии в виде цепочной  $n + 1$  массовой колебательной динамической системы. Уравнения резонансных колебаний имеют вид

$$\begin{aligned} J_1 \cdot \ddot{y}_1 + b_1 \cdot (\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + c_1 \cdot (y_1 - y_2) &= P_1(t) \\ J_k \cdot \ddot{y}_k - b_{k-1}(\dot{y}_{k-1} - \dot{y}_k) - c(\dot{y}_{k-1} - \dot{y}_k) + b_k(\dot{y}_k - \dot{y}_{k+1}) + c_k(\dot{y}_k - \dot{y}_{k+1}) &= P_k(t) \\ J_{n+1} \ddot{y}_{n+1} - b_n(\dot{y}_n - \dot{y}_{n+1}) - c_n(\dot{y}_n - \dot{y}_{n+1}) &= P_{n+1}(t) \end{aligned} \quad (11)$$

Разделим  $k$  – ое уравнение на  $J_k$ , вычтем каждое последующее уравнение из

предыдущего и, вводя в него переменные  $\varphi_k = y_k - y_{k+1}$  - угол закручивания  $k$  – го вала, получим систему дифференциальных уравнений для валов  $n$  – го порядка

$$\begin{aligned} d_1(s)\varphi_1 + a_2(s)\varphi_2 &= P_1(s)/J_1 - P_2(s)/J_2 \\ q_k(s)\varphi_{k-1} + d_k(s)\varphi_k + a_{k+1}(s)\varphi_{k+1} &= P_k(s)/J_k - P_{k+1}(s)/J_{k+1} \\ q_n(s)\varphi_{n-1} + d_n(s)\varphi_n &= P_n(s)/J_n - P_{n+1}(s)/J_{n+1}, \end{aligned} \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} d_k(s) &= s^2 + b_k(1/J_k + 1/J_{k+1})s + \\ &+ c_k(1/J_k + 1/J_{k+1}), \\ a_k(s) &= -(b_k + c_k)/J_k, \\ q_k(s) &= -(b_{k-1}s + c_{k-1})/J_k, \quad s \equiv d/dt. \end{aligned} \quad (13)$$

Применяя преобразование Лапласа к уравнениям, в которых предполагаются нулевые начальные условия, в итоге получим систему алгебраических уравнений в матричной форме, разрешённую относительно изображений переменных  $\varphi_k(s)$

$$\Phi(s) = W(s) \cdot P(s), \quad (14)$$

где матрица передаточных функций имеет вид

$$W(s) = \frac{1}{D_{1n}} \begin{bmatrix} D_{2n} & -a_2 D_{3n} & \dots \\ (-1)^{1+n} a_2 \cdot a_n & & \\ -q_2 D_{3n} & D_{11} D_{3n} & \dots \\ (-1)^{2+n} D_{11} a_3 \cdot a_n & & \\ q_2 q_3 D_{4n} & -D_{11} q_3 D_{4n} & \dots \\ (-1)^{3+n} D_{12} a_4 \cdot a_n & & \\ \dots & \dots & \dots \\ (-1)^{k+1} q_2 \cdot q_k D_{k+1n} & (-1)^{k+2} D_{11} q_3 \cdot q_k D_{k+1n} & \\ \dots & (-1)^{k+n} D_{k-1} a_{k+1} \cdot a_n & \\ \dots & \dots & \dots \\ (-1)^{n+1} q_2 \cdot q_n & (-1)^{n+2} D_{11} q_3 \cdot q_n & \\ \dots & D_{n-1} & \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$a D_{kn} = \quad (16)$$

определитель трёхдиагональной матрицы, вычисляемой по рекуррентному соотношению

$$D_{kn} = d_k(s) D_{k+1n} - a_{k+1}(s) q_{k+1}(s) D_{k+2n}, \quad D_{kk} = d_k(s). \quad (17)$$

В результате мы приходим к аналогичным, но несколько изменённым формулам, так как для рассматриваемой  $n$ -вальной системы получаем аналогичную несимметричную матрицу. Значение крутящего момента на  $k$ -ом валу определяется выражением [14]

$$M_k(s) = c_k \varphi_k(s),$$

тогда передаточная функция, которая выражает связь между крутящим моментом на  $k$ -ом валу трансмиссии и возмущающей силой  $P_1(t)$ , приложенной к первой массе, представляется в виде:

а) для  $l \leq k$

$$W_{1k}(s) = \frac{(-1)^{k+1} c_k q_{1+1} q_{1+2} \dots q_k D_{11-1} (D_{k+2n} q_{k+1} + D_{k+1n})}{J_1 D_{1n}}, \quad (18)$$

б) для  $l = 1$

$$W_{1k}(s) = \frac{(-1)^{k+1} c_k q_2 q_3 \dots q_k D_{k+1n}}{J_1 D_{1n}}, \quad (19)$$

в) для  $l > k$

$$W_{1k}(s) = \frac{(-1)^{k+1} c_k D_{1k-1} a_{k+1} a_{k+2} \dots a_{1-1} (D_{1n} + a_1 D_{1+1n})}{J_1 D_{1n}}, \quad (20)$$

г) для  $l = n + 1$

$$W_{n+1k}(s) = \frac{(-1)^{k+n+1} c_k D_{1k-1} a_{k+1} a_{k+2} \dots a_n D_{k+1n}}{J_{n+1} D_{1n}}. \quad (21)$$

На основе изложенного метода для десятимассовой модели лесохозяйственного агрегата передаточные функции возмущений от двигателя трактора, его гусеничного зацепления и сопротивления грунта на произвольно выбранный  $k$ -ый вал трансмиссии соответственно имеют вид [15]

$$W_{дв k}(s) = \frac{(-1)^{k+1} c_k q_1 q_2 \dots q_k D_{k+19}}{J_1 D_{19}},$$

$$W_{Г k}(s) = \frac{(-1)^{k+8} c_k D_{1k-1} a_{k+1} a_{k+2} \dots a_7 (D_{89} + a_8 D_{99})}{J_8 D_{19}}, \quad (22)$$

$$W_{с k}(s) = \frac{(-1)^{k+9} c_k D_{1k-1} a_{k+1} a_{k+2} \dots a_9}{J_{10} D_{19}}.$$

Гусеничные тракторы отличаются от колёсных, значительным воздействием на трансмиссию со стороны движителя. Проявление возмущений от гусеничного зацепления наблюдается на валу муфты сцепления агрегата. Частотные диапазоны от воздействия гусеничного зацепления определяются по формуле [15]

$$\omega_{ГЗ} = 2 \cdot \pi \cdot n_k \cdot z_k = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_d \cdot z_k}{i_{тр}} = \frac{v \cdot z_k}{r_k}, \quad (23)$$

где  $n_d$  и  $n_k$  – частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора и ведущих звёздочек его гусениц;

$z_k$  – число зубьев ведущих звёздочек гусениц трактора;

$i_{тр}$  – передаточное число его трансмиссии;

$v$  – скорость движения трактора;

$r_k$  – радиус ведущей звёздочки гусениц.

Частотные диапазоны от взаимодействия активных рабочих органов с разрабатываемой средой определяются по формуле

$$\omega_{р.о.} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{р.о.} \cdot z_H}{i_{ВОМ} \cdot i_{РО}}, \quad (24)$$

где  $n_{р.о.}$  – частота вращения рабочего органа;

$z_H$  – число ножей (резцов) на рабочем органе;

$i_{ВОМ}$  – передаточное отношение редуктора ВОМ;

$i_{РО}$  – передаточное отношение редуктора орудия.

Для расчётов свободных колебаний систем с изменяемыми моментами инерции маховика двигателя и барового рабочего органа были составлены алгоритм и программа решения системы дифференциальных уравнений на основе метода Рунге – Кутты в системе MathCAD с применением функций `eigenvals (M)` [14, 15]. По алгоритму нахождения передаточных функций, а по ним амплитудно – частотных характеристик (АЧХ), изложенному в [14], были проведены расчёты АЧХ и АЧМХ динамических систем лесохозяйственных агрегатов.

Данная методика подходит для цепочной и разветвлённой схемы трансмиссии при использовании орудий с пассивными рабочими органами и с приводом от ВОМ. В цепочной трансмиссии (рис. 3 А, Б) варьировались значения моментов инерции маховика двигателя трактора с 2,9 до 6 кг/м<sup>2</sup>. В разветвлённой сравнивались варианты изменения моментов инерции маховика двигателя и рабочего органа.

Как следует из расчётов АЧХ для агрегата на базе трактора ЛХТ – 55 с плугом ПКЛ-70 при работе на первой передаче со стандартным и увеличенным маховиками

( $J_{max} = 2,9$  и  $6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ) существенные амплитуды колебаний наблюдаются в области собственных частот и резонансы при совпадении с собственными частотами, причём колебания от движителей

распространяются по всей трансмиссии, а также доходят до первичного вала коробки передач, колебания от двигателя значительно уступают по амплитуде.

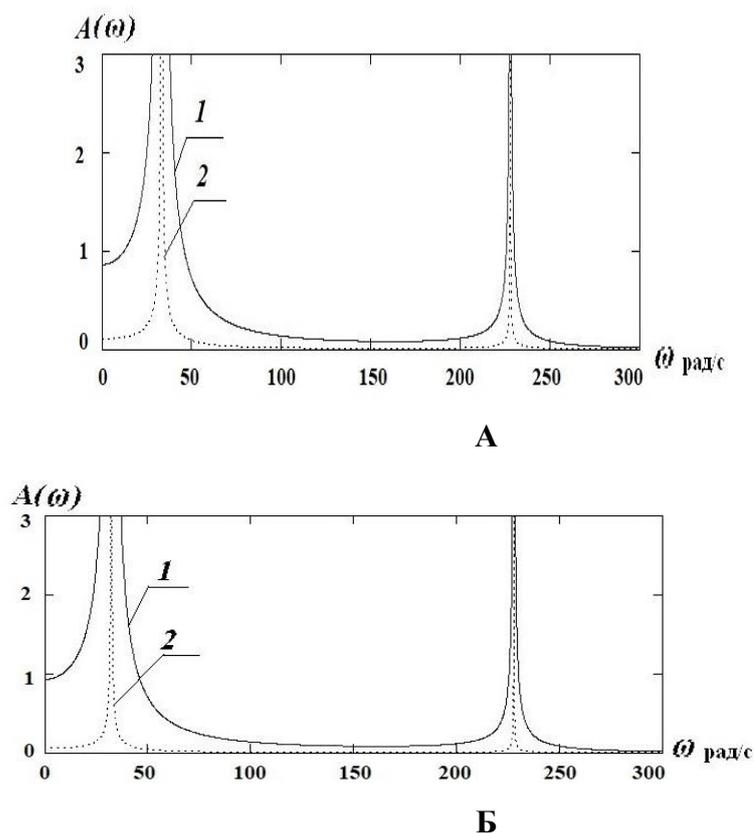


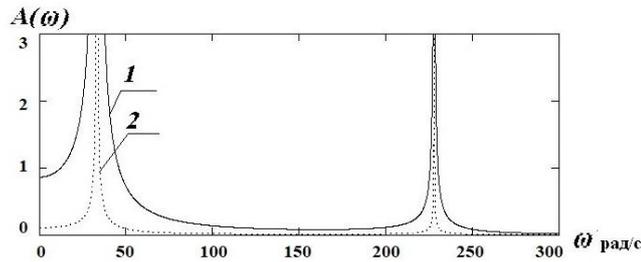
Рисунок 3. АЧХ трансмиссии трактора ЛХТ - 55. Воздействия: 1- от гусениц на вал КПП; 2- от двигателя на валы бортовых передач. А -  $J_{max} 2,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , Б -  $J_{max} 6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ . 1 пер.э

Сравнение АЧХ рис. 3 А, Б показывает, что при увеличении  $J_{max}$  с  $2,9$  до  $6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  существенных изменений частот колебаний трансмиссии не наблюдается. Увеличение момента инерции маховика двигателя не вызывает резонансных явлений в трансмиссии трактора, но повышает его производительность за счёт повышения скоростей движения.

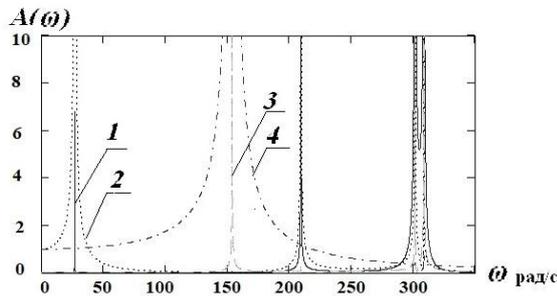
Исходя из выражений следует считать, что трансмиссии с десяти массовой схемой лесохозяйственного агрегата (БМРМГ на базе трактора ДТ – 75 Б) с активными рабочими органами, имеющими значительный момент инерции, для различных вариантов изменения моментов инерции маховика двигателя представлен на графиках АЧХ рис. 4 А - Г. Рабочая скорость движения агрегата при расчётах

принималась 0,2 м/с согласно техническим характеристикам орудий. Момент инерции маховика двигателя принимался 2,9 и 8,0

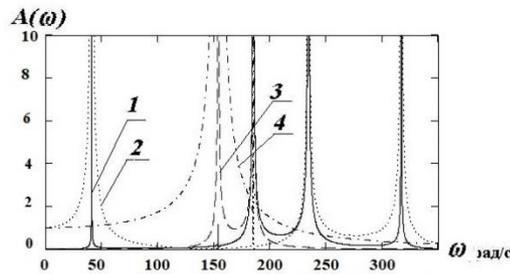
кг·м<sup>2</sup>, приведённый к коленчатому валу двигателя момент инерции рабочего органа составил 1,15 и 3,61 кг·м<sup>2</sup>.



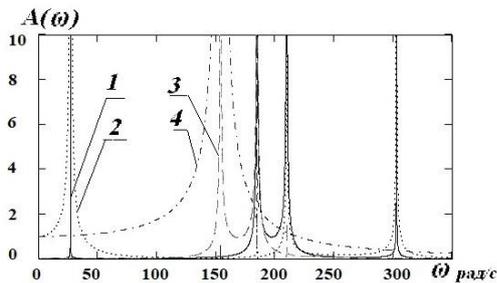
А



Б



В



Г

Рисунок 4 А - Г - АЧХ трансмиссии БМРМГ на базе ДТ-75. Воздействия: 1- от ножей на вал сцепления; 2- от ножей на ВОМ; 3 – от двигателя на резцы; 4 – от резцов на КПП

А -  $J_{дв} 2.9 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_{фр} 1.15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ; Б -  $J_{дв} 2.9 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_{фр} 3,61 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;

В -  $J_{дв} 8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_{фр} 1.15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ; Г -  $J_{дв} 8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $J_{фр} 3.61 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$

Диапазон воздействия гусениц на трансмиссию находится в частотах 190-210 рад/с. И возрастает с увеличением момента инерции маховика двигателя.

Из анализа данных АЧХ трактора ДТ – 75 Б с баровым рабочим органом следует, что энергия от воздействия инерционной массы резцов сосредоточена в пределах частот 40 и 230 рад/с, а амплитудно – частотных характеристик динамической модели лесохозяйственного агрегата БМРМГ на базе трактора ДТ – 75 при различных моментах инерции маховика двигателя и ножей можно отметить, что увеличение момента инерции маховика

двигателя практически не оказывает влияния на изменение собственной частоты колебаний, возрастание момента инерции рабочего органа в 3.14 раза вызывает смещение частот в сторону их уменьшения в 1,4 раза.

Анализ трансмиссии лесохозяйственного агрегата на базе самоходного шасси СШ – 16 М с торцевой фрезой представлен на графике АЧХ рис. 5. При расчётах варьировались число ножей на диске фрезы, скорости движения и резания. Скорость движения агрегата в процессе испытаний принималась постоянной 0,4 м/с, скорость резания составляла 8 и 16 м/с.

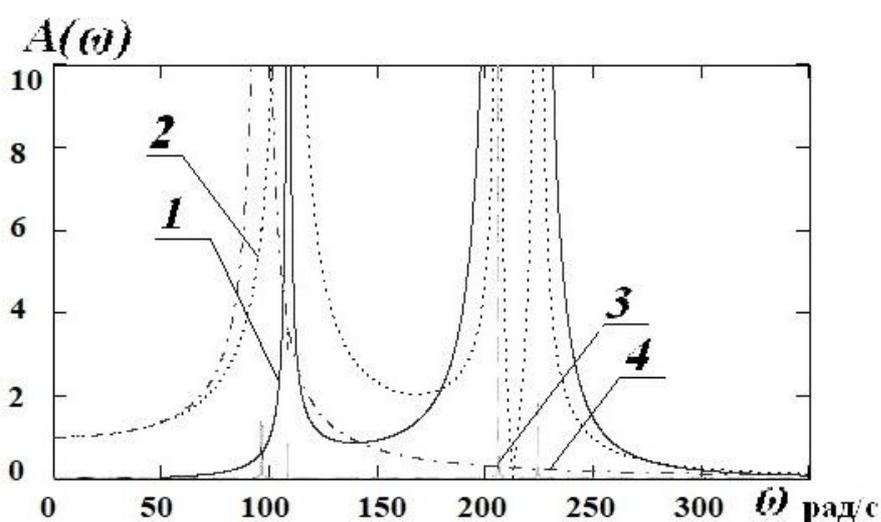


Рисунок 5. АЧХ трансмиссии самоходного шасси СШ – 16 с торцевой фрезой. Воздействия: 1- от фрезы к валу сцепления шасси; 2 - от фрезы на ВОМ шасси; 3 – от двигателя на валы бортовых передач; 4 – от движителей на вал сцепления

Момент инерции маховика двигателя 1,14 кг·м<sup>2</sup>, приведённый момент инерции барового рабочего органа 0,16 кг·м<sup>2</sup>.

Трансмиссия лесохозяйственного агрегата на базе самоходного шасси СШ – 16 М испытывает воздействие от рабочего органа (торцовой фрезы) в зависимости от принятой скорости резания 8 или 16 м/с, возбуждаемые частоты 169,72 или 339,45 рад/с не влияют на характер колебаний трансмиссии. По АЧХ данного агрегата можно сделать предварительный вывод о том, что его динамические характеристики нуждаются в научном обосновании и конструктивном совершенствовании в направлении снижения амплитуд колебаний участка привода фрезерного рабочего органа.

Влияние передаточных чисел и жёсткостей участков трансмиссии на изменение динамических свойств и характеристик агрегата должно моделироваться по методике [14]. Предпочтение следует отдать увеличению передаточного числа редуктора орудия с баровым рабочим органом. Поскольку жёсткость данного участка уменьшается, две первые собственные частоты расходятся, а третья увеличивается, это благоприятно сказывается на частотном диапазоне возмущающих колебаний в плане отстройки от резонанса. Расчёты следует

проводить при нулевом демпфировании. При необходимости в силовую цепь трансмиссии на участке «ВОМ – рабочий орган» могут устанавливаться демпфирующие устройства. Если принять даже незначительное демпфирование (например, с декрементом затухания  $\delta = 0,3$ ), то значения амплитуд в области высоких частот снижаются.

При выборе значений передаточных чисел трансмиссии необходимо проведение многокритериальной оптимизации по методике [8]. Модернизация агрегата посредством изменения момента инерции его вращающихся масс должна выполняться у баровых рабочих органов, маховик двигателя подлежит изменению только при модернизации трактора [9].

**Заключение.** С целью обеспечения надежной работы серийной лесохозяйственной техники для осушения в переувлажненных почвах леса, необходима ее модернизация и, в первую очередь, повышение проходимости и уменьшение удельного давления на грунт несущими системами машин.

Представленные математические модели позволяют определить нагруженность работы агрегатов, прогнозировать их изменение при модернизации базовой машины. Как следует из приведенных расчетов,

минимальную нагруженность агрегата предпочтительным считать тракторы с баровым рабочим органом, который обеспечивает минимальное удельное давление на опорную поверхность. Данная

#### Библиографический список

1. Коршун, В. Н. Динамические модели механической системы технологической машины / В. Н. Коршун // Механика XXI века. – 2014. – № 13. – С. 10-14.
2. Коршун, В. Н. Теория наземных транспортно-технологических комплексов. Теория, конструкция и расчет сцепных устройств : Учебное пособие по выполнению расчетно-графической работы для направления 190100 (23.03.02) "Наземные транспортно-технологические комплексы" очной формы обучения / В. Н. Коршун ; Ответственный редактор А.И. Карнаухов. – Красноярск : Сибирский государственный технологический университет, 2015. – 88 с.
3. Коршун, В. Н. Концепция трактора для лесного хозяйства / В. Н. Коршун // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 5. – С. 16-19.
4. Коршун, В. Н. Роторные рабочие органы лесохозяйственных машин. Механика взаимодействия с предметом труда :

методика может быть применена на стадии проектирования с целью снижения динамической нагруженности трансмиссии.

- монография / В. Н. Коршун ; В. Н. Коршун ; Федер. агентство по образованию, ГОУ ВПО "Сиб. гос. технол. ун-т". – Красноярск : СибГТУ, 2005. – 271 с. – ISBN 5-8173-0204-7.
5. Орловский, С.Н. Исследование работоспособности щелевого дренажа на осушении торфяников / С. Н. Орловский, С. А. Войнаш, В. А. Соколова [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 424-428. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-1-424-428.
  6. Орловский, С.Н. О разработке механизированных комплексов для осушения болот Сибири / С. Н. Орловский, А. И. Карнаухов, С. А. Войнаш [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 526-530. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-1-526-531.
  7. Орловский, С. Н. Методика оптимизации геометрических параметров и режимов резания фрезерных рабочих органов / С. Н. Орловский // Роль мелиорации в обеспечении продовольственной

безопасности, Москва, 14–15 апреля 2022 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2022. – С. 282-290.

8. Анализ нагрузок на элементы конструкции лесной машины в процессе остановки / В. Ф. Полетайкин, Е. В. Авдеева, Д. Е. Шпагин [и др.] // Хвойные бореальной зоны. – 2022. – Т. 40, № 3. – С. 216-218. – DOI 10.53374/1993-0135-2022-6-216-218.
9. Полетайкин, В. Ф. Динамические нагрузки на подвеску корпуса и рабочее оборудование лесопогрузчика / В. Ф. Полетайкин // Хвойные бореальной зоны. – 2015. – Т. 33, № 3-4. – С. 177-181.
10. Poletaykin, V. F. Dynamics Loads in Stop Mode Logger with Cargo / V. F. Poletaykin, E. V. Avdeeva // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2019. – Vol. 139. – P. 682-687. – DOI 10.1007/978-3-030-18553-4\_84.

#### References

1. Korshun V. N. Dinamicheskie modeli mekhanicheskoy sistemy tekhnologicheskoy mashiny [Dynamic models of the mechanical system of a technological machine]. Mekhaniki XXI veka. 2014. No. 13. P. 10-14. (In Russian)
2. Korshun V. N. Teoriya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh kompleksov. Teoriya, konstruktsiya i raschet stsepynykh ustroystv : Uchebnoe posobie po vypolneniyu raschetno-graficheskoy raboty dlya napravleniya 190100 (23.03.02) "Nazemnye transportno-tekhnologicheskie komplekсы" ochnoy formy obucheniya [Theory of land transport and technological complexes. Theory, design and calculation of coupling devices : A textbook on performing computational and graphic work]. Ed. By A.I. Karnaukhov. Krasnoyarsk, Siberian State Technological University, 2015, 88 p. (In Russian)
3. Korshun V. N. Kontseptsiya traktora dlya lesnogo khozyaystva [The concept of a tractor for forestry]. Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. 2007. No. 5. P. 16-19. (In Russian)
4. Korshun V. N. Rotornyye rabochie organy lesokhozyaystvennykh mashin. Mekhanika vzaimodeystviya s predmetom truda : monografiya [Rotary working bodies of forestry machines. Mechanics of interaction with the subject of work : monograph]. Federal Agency for Education, Siberian State Technological University. Krasnoyarsk, SibSTU, 2005, 271 p. (In Russian)
5. Orlovskiy S.N., Voynash S. A., Sokolova V. A. [et al.]. Issledovanie rabotosposobnosti shchelevogo drenazha na osushenii torfyaniy [Investigation of the efficiency of

- slit drainage in the drainage of peat bogs]. *Izvestiya of Tula State University*, 2023, no. 1, p. 424-428. DOI 10.24412/2071-6168-2023-1-424-428.
6. Orlovskiy S.N. Karnaukhov A.I., Voynash S. A. [et al.] O razrabotke mekhanizirovannykh kompleksov dlya osusheniya bolot Sibiri [On the development of mechanized complexes for draining the swamps of Siberia ]. *Izvestiya of Tula State University*, 2023, no. 1, p. 526-530. DOI 10.24412/2071-6168-2023-1-526-531.
7. Orlovskiy S. N. Metodika optimizatsii geometricheskikh parametrov i rezhimov rezaniya frezernykh rabochikh organov. Rol' melioratsii v obespechenii prodovol'stvennoy bezopasnosti, Moskva, 14–15 aprelya 2022 goda [Methodology for optimizing geometric parameters and cutting modes of milling working bodies // The role of land reclamation in ensuring food security]. Moscow, the All-Russian Scientific-research institute of hydrotechnologies and melioration named after A.N. Kostyakov. 2022. P. 282-290. (In Russian)
8. V. F. Poletaykin, E. V. Avdeeva, D. E. Shpagin [et al.]. Analiz nagruzok na elementy konstruktсии lesnoy mashiny v protsesse ostanovki // *Khvoynye boreal'noy zony* [Analysis of loads on structural elements of a forest machine in the process of stopping]. 2022. Vol. 40, No. 3. P. 216-218. DOI 10.53374/1993-0135-2022-6-216-218. (In Russian)
9. Poletaykin V. F. Dinamicheskie nagruzki na podvesku korpusa i rabochee oborudovanie lesopogruzchika // *Khvoynye boreal'noy zony* [Analysis of loads on structural elements of a forest machine in the process of stopping 2015. ]. 2015. Vol. 33, no. 3-4, p. 177-181. (In Russian)
10. Poletaykin V. F., Avdeeva E. V. Dynamics Loads in Stop Mode Logger with Cargo. *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2019. Vol. 139. P. 682-687. DOI 10.1007/978-3-030-18553-4\_84.

**Саая Сай-Суу Шолбановна**, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет», г. Кызыл, Россия, эл.почта: sai-suu2014@yandex.ru

**Орловский Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Красноярский аграрный университет», г. Красноярск, Россия

**Долматов Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент ФГАОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва», г. Красноярск, Россия.

**Sai-Suu Sholbanovna**, Senior Lecturer, Tuvan State University, Kyzyl, Russia, e-mail: sai-suu2014@yandex.ru

**Sergei Nikolayevich Orlovsky**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia.

**Sergei Nikolayevich Dolmatov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 3.03.2024

Научное издание

**ВЕСТНИК**  
**ТУВИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА.**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**№ 1 (5), 2024**

Учредитель ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»

Дата выхода: 29.03.2024

Адрес редакции: 667000, Республика Тыва, г. Кызыл, Ленина, 36

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 № ФС77-85270 от 27 апреля 2023 г.*

*Индекс в каталогах Роспечати 66075.*

Главный редактор А.А. Чылбак  
Технический секретарь Ч.Б. Донгак  
Верстка К.О. Салчак  
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

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве ТувГУ

Подписано в печать: 29.03.2024.

Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Физ. печ. л. 10,5. Заказ № 1818/12. Тираж 100 экз.

Цена свободная

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



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