

ISSN 2071-7296 (Print)
ISSN 2658-5626 (Online)



научный рецензируемый журнал

• **ВЕСТНИК** The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

СИБАДИ •

“Vestnik SibADI”

Том 16, № 2. 2019
Сквозной номер выпуска – 66

Vol. 16, no. 2. 2019
Continuous issue – 66

наука
science

creation
творчество

образование
education

innovations
инновации

technology
технологии

tradition
традиции



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный
университет (СибАДИ)»

ВЕСТНИК СИБАДИ

THE RUSSIAN AUTOMOBILE AND HIGHWAY INDUSTRY JOURNAL

**Том 16, № 2. 2019. Сквозной номер выпуска – 66
Vol. 16, no. 2. 2019. Continuous issue – 66**

Омск – 2019

Главный редактор **Жигadlo А.П.**, д-р пед. наук, канд. техн. наук, доц., член-кор. АВН, ректор ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Editor-in-Chief, **Zhigadlo A.P.**, Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of Academy of Military Science, Rector of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Транспортное, горное и строительное машиностроение

Галдин Н.С., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Корытов М.С., д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Транспорт

Певнев Н.Г., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Витвицкий Е.Е., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Строительство и архитектура

Сиротюк В.В., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Чулкова И.Л., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

EDITORIAL BOARD

Transport, mining and mechanical engineering

Galdin N.S., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Korytov N.S., Doctor of Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Transport

Pevnev N.G., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Vitvitskiy E.E., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Construction and architecture

Sirotyuk V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Chulkova I.L., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Корчагин П.А., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Щербakov В.С., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Винников Ю.Л., д-р техн. наук, проф., Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина

Горынин Г.Л., д-р физ.-мат. наук, проф., ФГБОУ ВО «СурГУХМАО-ЮГРЫ», г. Сургут, Россия

Данилов Б.Б., д-р техн. наук, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

Жусупбеков А.Ж., д-р техн. наук, проф., член-кор. Национальной инженерной академии Республики Казахстан, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан.

Макеев С.А., д-р техн. проф. наук ФГБОУ ВО «СибАДИ» г. Омск, Россия

Мещеряков В.А., д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Мочалин С.М., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Немировский Ю.В., д-р физ.-мат. наук, проф. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия

Перебуд Я.А. д-р экон. наук, проя. Высшая школа экономики в Варшаве (SGH), г. Варшава, Польша

Подшивалов В.П., д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Пономарев А.Б., д-р техн. наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия.

Хмара Л.А., д-р техн. наук, проф., Приднепровская государственная академия Строительства и Архитектуры, г. Днепрпетровск, Украина

Эдвин Козневски, д-р техн. наук, проф., г. Белосток, Польша

Боброва Т.В., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Леонович С.Н., д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Гумаров Г.С., д-р техн. наук, проф., член-кор. Российской Академии Естествознания, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан

Шаршембиев Ж.С., д-р техн. наук, проф., Кыргызский Национальный аграрный университет имени К.И. Скрябина, г. Бишкек, Киргизская Республика

MAIN EDITORIAL BOARD

Korchagin P. A., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Shcherbakov V.S., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Vinnikov Yu. L., Doctor of Technical Sciences, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Poltava, Ukraine

Gorynin G. L., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor of the «SurGUKMAO-Yugra», Surgut, Russia

Danilov B. B., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mining and Construction Geotechnics, Mining Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Zhusupbekov A.Zh., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, ENU named aft eLr. N. Gumilev, Astana, Kazakhstan

Makeev S.A., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Meshcheryakov V.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Mochalin S.M., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Nemirovsky Yu.V., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor of the Federal State Budgetary Institution of Science «The Institute of Theoretical and Applied Mechanics named after S.A. Khristianovich» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Peregud Ya.A. Doctor of Economics, Professor, Higher School of Economics in Warsaw, Warsaw, Poland

Podshivalov V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus

Ponomarev A. B., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction Production and Geotechnics, Perm National Research Technical University, Perm, Russia

Khmara L.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture, Dnepropetrovsk, UkraineEdwin Koźniewski, Doctor of Science, Professor, Białystok, Poland

Edwin Koźniewski, Doctor of Technical Sciences, Professor, Białystok, Poland

Bobrova T.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Leonovich S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Якунин Н.Н., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия

Ефименко В.Н., д-р техн. наук, проф., Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

Якунина Н.В., д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия

Корнеев С.В., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ОмГТУ», г. Омск, Россия

Боровик В.С., д-р техн. наук, проф., Волгоградский научно-технический центр, г. Волгоград, Россия

Коротаев Д.Н., д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф., член-кор. РААСН, БГТУ им. Шухова, г. Белгород, Россия

Савельев С.В., д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Корягин М.Е., д-р техн. наук, доц., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Россия

Рассоха В.И., д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия

Кондратенко А.С., канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)», ИГД СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Маткеримов Т.Ы., д-р техн. наук, проф., КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, Киргизская Республика

Курганов В.М., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь, Россия

Матвеев С.А., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Зырянов В. В. д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Организация перевозок и дорожного движения» Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону.

Трофименко Ю.В. д-р техн. наук, проф., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) г. Москва, Россия

Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф., Директор Политехнического института имени Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» г. Орел, Россия

Чекардовский М. Н. д-р техн. наук, проф. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия

Ваклав Скала, профессор University of West Bohemia, г. Пльзень, Чехия

Хомченко В.Г., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ОмГТУ», г. Омск, Россия

Gumarov G.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Member-cor. of the Russian Academy of Natural History, Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan

Sharshembiev Zh.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Scriabin, Bishkek, Kyrgyz Republic

Yakunin N.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Efimenco V.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia

Yakunina N.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Korneev S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Borovik V.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd Science and Technology Center, Volgograd, Russia

Korotaev D.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Lesovik V.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Member-cor. of RAASN, BSTU named after Shukhov, Belgorod, Russia

Saveliev S.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Koryagin M.E., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia

Rassokha V.I., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Kondratenko A.S., Candidate of Technical Sciences, Siberian State University of Railway Transport (SGUPS), IGD SB RAS, Novosibirsk, Russia

Matkerimov T.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, KSTU named after I. Razzakova, Bishkek, Kyrgyz Republic

Kurganov V.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Tver State University, Tver, Russia

Matveev S.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Zyryanov Vladimir V. Doctor of Technical Sciences, Professor, Don State Technical University, Rostov-na-Donu

Trofimenko Yu. V. Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) Moscow, Russia

Novikov A. N. Doctor of Technical Sciences, Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

Chekarodovskiy M.N. Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State budget institution of higher education «Tyumen industrial University», Tyumen, Russia

Václav Skala, Professor of University of West Bohemia, Plsen, Czech Republic

Khomchenko V.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Адрес издателя: 644080, г. Омск, просп. Мира, 5. Тел. +7 (3812) 65-88-30; режим доступа: vestnik.sibadi.org; e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org

Учредитель ФГБОУ ВО «СибАДИ». Адрес учредителя: 644080, г. Омск, просп. Мира, 5.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), регистрационный номер СМИ ПИ № ФС 77-73591 от 31.08. 2018 года.

Научный рецензируемый журнал Вестник СибАДИ / The Russian Automobile and Highway Industry Journal входит в перечень ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК решением президиума ВАК от 25.02.2011 г.; В соответствии с распоряжением Минобрнауки России от 28 декабря 2018 г. № 90-р включен в новый перечень. С 2009 года представлен в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU и включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Входит в международный каталог Ulrich's International Periodicals Directory. Подписной индекс 66000 в каталоге (АО Агентства "РОСПЕЧАТЬ). С 2017 г. всем номерам и статьям журнала присваиваются цифровые идентификаторы объектов (DOI), данные о которых размещены в электронной версии на сайте vestnik.sibadi.org. Редакционный блок осуществляет экспертную оценку, рецензирование и проверку статей на плагиат.

Подписано в печать 12.04.2019. Дата выхода в свет 19.04.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Arial. Печать оперативная.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 27,25 Тираж 500 экз. Заказ 500 экземпляров. Свободная цена. Отпечатано в типографии ИПК ФГБОУ ВО «СибАДИ» 644080, г. Омск, пр. Мира, 5.

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2019

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Н.С. Любимый, Б.С. Четвериков, М.С. Чепчуров, И.А. Одобеско
**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ПЛОСКОСТИ ЗАГОТОВОК ОТВОДОВ
 ТРИАНГУЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА.....** 96

Е.А. Потахов
**МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ МЕСТНОЙ И ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ
 ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА.....** 110

И.С. Тюремнов, Д.В. Федорова
**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
 НАВЕСНЫХ ЭКСКАВАТОРНЫХ ВИБРОПЛИТ.....** 122

Д.В. Фурманов, А.В. Барулев, Н.Е. Тарасова, Е.К. Чабуткин
**ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ ВИБРАТОРОВ ВИБРОПЛОЩАДОК
 ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ.....** 134

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

К. Исаков, Л.Н. Стасенко, А.Ш. Алтыбаев, Д. Дайырбекова
**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
 НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ.....** 146

Е.Р. Кирколуп, И.В. Харламов
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМЕЩЕНИЙ СЫПУЧЕГО ГРУЗА
 НА ИЗМЕНЕНИЕ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТА.....** 156

А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова, А.Г. Бурлуцкая
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ RAMP METERING НА ДВУХУРОВНЕВЫХ РАЗВЯЗКАХ..... 166

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Ю.В. Краснощеков
**РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
 ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....** 182

PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

N.S. Lyubimyi, B.S. Chetverikov, M.S. Chepchurov, I.A. Odobesko
**TECHNIQUE FOR DETERMINING AVERAGE PLANE OF PIPE TAPS BY
 A TRIANGULATION METHOD USING AN ANTROPOMORPHIC ROBOT.....** 97

E.A. Potakhov
**CONTROL TECHNIQUE OF LOCAL AND GENERAL STABILITY OF THE LOADING CRANE'S
 TELESCOPIC BOOM.....** 111

I.S. Tyuremnov, D.V. Fedorova
**STATISTICAL PROCESSING OF TECHNICAL CHARACTERISTICS
 OF VIBRATING PLATE COMPACTORS.....** 123

D.V. Furmanov, A.V. Barulev, N.E. Tarasova, E.K. Chabutkin
**DYNAMIC BRAKING OF THE INERTIAL VIBRATOR OF VIBRATORY PLATES
 FOR CONCRETE MIXES COMPACTING.....** 135

PART II. TRANSPORT

K. Isakov, L.N. Stasenko, A.Sh. Altybaev, D. Daiyrbekova
**INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE TRAFFIC-LIGHT REGULATION CYCLE
 ON THE ROAD CAPACITY OF REGULATED INTERSECTIONS.....** 147

E.R. Kirkolup, I.V. Kharlamov
**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE FRIABLE LOAD OFFSETS' EFFECT
 ON THE VEHICLES' AXIAL CARGO CHANGING.....** 157

A.N. Novikov, I.A. Novikov, A.G. Shevtsova, A.G. Burlutskaya
USE OF THE RAMP METERING SYSTEM AT TWO-LEVEL JUNCTIONS..... 167

PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Y.V. Krasnoshchekov
**CALCULATED MODEL OF THE TRANSVERSE STRENGTH RESISTANCE
 OF REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS.....** 183

**РАЗДЕЛ I.
ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ
И СТРОИТЕЛЬНОЕ
МАШИНОСТРОЕНИЕ**

УДК 621.643 – 777.6

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ПЛОСКОСТИ ЗАГОТОВОК ОТВОДОВ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

*Н.С. Любимый, Б.С. Четвериков, М.С. Чепчуров, И.А. Одобеско
ФГВБОУ ВО «БГТУ им. В.Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. На сегодняшний день существуют различные способы производства отводов труб. При производстве одной из наиболее трудоёмких операций применяют разметку отводов под последующий раскрой и механическую обработку. Разметочные операции выполняют при помощи мерительных инструментов и специализированной оснастки. Выполнение указанных операций производится вручную, что влечет за собой снижение точности и повышение трудоемкости процесса. В данной статье авторы предлагают метод определения скрытой базы отвода – средней плоскости – с использованием антропоморфного робота. В дальнейшем результаты работы позволят произвести виртуальный расчет положения рабочего органа антропоморфного робота при разметке и сгенерировать траекторию его перемещения, что в конечном итоге позволит снизить трудоемкость и повысить точность операции разметки.

Материалы и методы. Предполагается в качестве измерительной базы использовать скрытую базу, а именно среднюю плоскость отвода. Робот калибруется исходя из положения базовой плоскости (плаза) и методом итерационного сравнения длин дуг окружностей выбирает дугу с наименьшей длиной, которая и будет лежать в средней плоскости. Определение длин дуг будет осуществляться триангуляционным методом при помощи интерферометра.

Результаты. Результатом научно-исследовательской работы является разработка методики определения скрытой базы в виде средней плоскости.

Обсуждение и заключение. Предложенная методика определения скрытых баз отвода позволит создать автоматизированную систему разметки и раскроя отводов, что в свою очередь позволит существенно сократить время выполнения операции, а также снизит трудоемкость производства на данной стадии технологического процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: производство подъемно-транспортных машин, производство труб, робототехника, автоматизация, оптический контроль, оптические датчики, КУКА, отвод, средняя плоскость, интерферометр.

БЛАГОДАРНОСТИ. Коллектив авторов выражает благодарность анонимному рецензенту научного рецензируемого журнала «Вестник СИБАДИ» за вдумчивые комментарии и уместные критические замечания предыдущей версии статьи, а также за ценные советы, позволившие доработать статью и конкретизировать её тематику.

© Н.С. Любимый, Б.С. Четвериков, М.С. Чепчуров, И.А. Одобеско



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

TECHNIQUE FOR DETERMINING AVERAGE PLANE OF PIPE TAPS BY A TRIANGULATION METHOD USING AN ANTROPOMORPHIC ROBOT

*N.S. Lyubimyi, B.S. Chetverikov, M.S. Chepchurov, I.A. Odobesko
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia*

ABSTRACT

Introduction. Nowadays there are various manufacture methods of pipe taps. One of the most laborious operations during manufacture is a marking of pipe taps for subsequent machining. Work layout operations are performed using special tool ware and outfit. These operations are performed manually and it leads to the decrease in accuracy and to the increase of laboriousness. The authors suggest the method of determination of the latent base of pipe tap (average plane) using an anthropomorphic robot. The results of research would help to make the virtual calculation of tool position of the anthropomorphic robot for marking and to generate the robot trajectory. Ultimately, such research would also decrease laboriousness and increase accuracy of marking operation.

Materials and methods. The authors suppose to use latent base, namely the average plane of the pipe tap as a measuring base. The robot is calibrated from the base plane placement and chooses the shortest circular arc by comparative approach. Therefore, such shortest arc would form the average plane. The authors carry out the determination of the curve line length by the triangulation method using the interferometer.

Results. The result of the research is the technology development for determination of latent base in the average plane form.

Discussion and conclusions. The proposed method of latent bases determination of pipe tap would allow making the automated system of marking of pipe taps. Moreover, such method would help to reduce time of performing operations as well as to decrease the manufacture laboriousness on the following stage of technological process.

KEYWORDS: *manufacture of lifting machines, pipes' manufacture, automation, optical checking, optical sensors, KUKA, pipe taps, average plane, interferometer.*

ACKNOWLEDGMENTS. *The authors express their sincere gratitude to the anonymous reviewer of the Russian Automobile and Highway Industry Journal for thoughtful and critical comments on the first draft of the paper, as well as for valuable pieces of advice that help to finalize the manuscript.*

© N.S. Lyubimyi, B.S. Chetverikov, M.S. Chepchurov, I.A. Odobesko



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие техники и технологий строительства, производства, переработки сырья приводит к потребностям использовать более мощные машины и оборудование, которые имеют сложные гидравлические и пневматические системы, транспортирующие рабочую или технологическую жидкость, а также газ под высоким давлением. Зачастую требуется спроектировать и изготовить сложную по конфигурации и пространственному положению магистраль, работающую под высоким давлением и при высоких температурах. Для этого применяют жесткие и гибкие трубопроводы. К первым относятся сварные конструкции из труб и фитингов, ко вторым – рукава высокого давления. Гибкие рукава высокого давления удобны в производстве машин и используются на подвижных блоках и агрегатах при передаче гидравлической жидкости или газа на небольшие расстояния, однако их цена из-за сложности технологии производства и применяемых материалов высока. В случае же когда машина или комплекс имеют стационарную структуру и располагаются на площади в значительном удалении друг от друга и от насосной станции, технологическая жидкость или газ имеет высокую температуру, целесообразнее применять магистральные трубопроводы, изготовленные в виде сварной конструкции из труб^{1, 2, 3} [1]. К таким технологическим комплексам могут относиться цементобетонные и асфальтобетонные заводы. Асфальтобетонный завод (АБЗ) представляет собой целый комплекс машин, зданий и сооружений для приготовления асфальтобетонных и битумо-минеральных смесей, которые используются при строительстве и ремонте асфальтового покрытия. Одним из основных составляющих АБЗ является битумное хозяйство, которое состоит из системы резервуаров и трубопроводных сетей, обеспечивающих разгрузку битума, хранение, обезвоживание, нагрев до рабочей температуры и последующую подачу к дозирующим устройствам асфальтосмесительных установок. Разработка способа и ме-

тодики, позволяющей полностью или частично автоматизировать процесс разметки и последующей обработки элементов трубопроводов позволит уменьшить трудоёмкость и повысить точность монтажа систем битумопроводов АБЗ при их строительстве и ремонте, а также других технологических комплексов, применяемых в дорожном строительстве.

При производстве соединительных частей трубопроводов, устанавливаемых для разветвления, поворотов, переходов на другой диаметр используют различные тройники, переходы, отводы и пр. Данные изделия в первую очередь делятся по показателю сечения на малые (от 5 до 102 мм), средние (от 102 до 426 мм) и большие (свыше 426 мм)¹. Кроме того, они классифицируются по таким показателям, как материал изготовления, профиль поперечного сечения, размер, способ соединения и тип изоляции⁴.

Стальные трубы и фитинги подразделяются на шовные и бесшовные. По специфике производства они могут быть сварными, штампованными, сварно-штампованными, коваными, ковано-сверленными и др.⁵

Как правило, для разметки труб и фитингов малого диаметра используется универсальная технологическая оснастка, которая позволяет разметить и механически обработать элементы трубопроводов, выдержав требуемые углы, исключить торцевое биение торцов обработанных труб и фитингов. Сама технология соединения сваркой на таких размерах сечений позволяет компенсировать погрешности торцовки и радиальное биение и получить надежное соединение. Другая ситуация возникает, когда сечение трубопровода имеет средний и большой размер, тогда неперпендикулярность торца трубы к её оси может привести к значительному торцевому биению, выходящему за пределы допуска.

Так, например, конструкция отводов крутоизогнутых типа 3D ($R \approx 1,5 DN$), разметку которых можно производить по предлагаемой методике, регламентируется межгосударственным стандартом ГОСТ 17375–2001 (ИСО 3419–81).

¹ ГОСТ 17375–2001. Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Отводы крутоизогнутые типа 3D ($R \approx 1,5 DN$). М. : Изд-во стандартов, 2002. 18 с.

² Добронравов С.С., Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование. М. : Высшая школа, 2006. 445 с.

³ Галдин Н.С. Элементы объемных гидроприводов мобильных машин: справочные материалы : учебное пособие. Омск : Изд-во СибАДИ, 2005. 127 с.

⁴ РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М. : Изд-во стандартов, 2003. 58 с.

⁵ Добронравов С.С., Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование. 445 с.

Условный проход таких отводов согласно стандарту находится в диапазоне от 15 до 1000 мм [2, 3].

Разметкой называется перенесение на трубу с рабочего чертежа размеров, необходимых для изготовления детали или элемента трубопровода. Для этого используют плазовые методы производства. Согласно ГОСТ 2.419–68, под плазировкой понимают такой метод производства, при котором детали изготавливают, размечают или контролируют на основании сборочных чертежей, шаблонов, макетов, реек, эскизов и чертежей, снимаемых с плаза. Плаз представляет собой площадку, выложенную чугунами или стальными плитами, на которой в натуральную величину вычерчивают контур заготовки, который с использованием измерительных инструментов (угольников) переносится на заготовку. Разметка является важной и ответственной операцией, требующей тщательного исполнения.⁶ Разметчик-трубопроводчик должен уметь читать чертежи и пространственно представлять себе изделие, изображенное на чертеже; знать геометрические построения и вычерчивать развертки; знать необходимые припуски при дальнейшей обработке труб и деталей и учитывать их при установлении разметочных размеров; экономно расходовать материалы, максимально используя обрезки труб и других материалов⁷.

Разметочные операции выполняют путем геометрического построения разметочных линий и знаков, для чего применяют переносные мерительные инструменты и шаблоны. Для разметки необходимы: стальная рулетка, линейка, угольник, циркуль, нутромер, штангенциркуль, рейсмус, транспортер, уровень, чертилка, кернер, молоток, а также шаблоны [4]. Разметку и контроль осуществляют согласно порядку, приведенному в РД 03-606-03, там же дается перечень инструментов, применяемых на тех или иных разметочных или контрольных операциях. К точности измерения предъявляются требования, указанные в таблице.

Таблица
Требования, предъявляемые к точности измерений

Table
Requirements performed for measurements' accuracy

Диапазон измеряемой величины, мм	Погрешность измерений, мм
До 0,5 вкл.	0,1
Свыше 0,5 до 1,0 вкл.	0,2
«1,0» 1,5»	0,3
«1,5» 2,5»	0,4
«2,5» 4,0»	0,5
«4,0» 6,0»	0,6
«6,0» 10,0»	0,8
10,0	1,0

Согласно паспорту антропоморфного робота^{8, 9} точность перемещения рабочего органа регламентируется таким показателем, как повторяемость и составляет 0,08 мм. Это означает, что рабочий орган антропоморфного робота способен перемещаться в одну и ту же точку с максимальной ошибкой 0,08 мм. Такой показатель повторяемости достигается благодаря использованию в конструкции робота сервоприводов с обратной связью. Учитывая, что минимально допустимая погрешность измерений для размеров до 0,5 мм составляет 0,1 мм, можно судить о том, что использование антропоморфного робота в качестве агрегата для измерения и разметки продукции, на которую распространяется действие, будет соответствовать требованиям нормативной документации¹⁰.

Места разметки труб окрашивают меловой краской с примесью жидкого стекла или столярного клея. На 1 л воды берут 120 г мела и 7 г столярного клея. На окрашенной поверхности чертилкой наносят риски, после чего их накернивают, чтобы предохранить от стирания. Во избежание значительных ошибок при нанесении линий на изделие запрещается пользоваться мелом.

В случае автоматизации процесса разметки операцию кернения можно заменить лазерной гравировкой, установив в качестве

⁶ ГОСТ 17375–2001. Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Отводы крутоизогнутые типа 3D (R ≈ 1,5 DN). 18 с.

⁷ Основы машиностроительной гидравлики / Т.В.Алексеева, Н.С. Галдин, Э.Б. Шерман, В.С.Щербаков. Омск : ОмПИ, 1986. 87 с.

⁸ KUKA System Software 8.3 – Instructions for system integrators.

⁹ ProgExperteBHR5.2 09.03.00 en. KR C3 Expert Programming KUKA System Software (KSS).

¹⁰ РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М. : Изд-во стандартов, 2003. 58 с.

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

рабочего органа антропоморфного робота лазерный гравер.

Для разметки труб с условным проходом от 100 до 500 мм на сектора для сварных отводов применяют шарнирное приспособление (рисунок 1). Оно состоит из призмы 1, которую устанавливают на трубу, шарнирного рычага 4, укрепленного на транспортире 2. На конце рычага имеется карандаш 3 или чертилка. Транспортир может поворачиваться на 90° в обе стороны. Данным приспособлением можно также размечать концы равнопроходного штуцера¹¹.

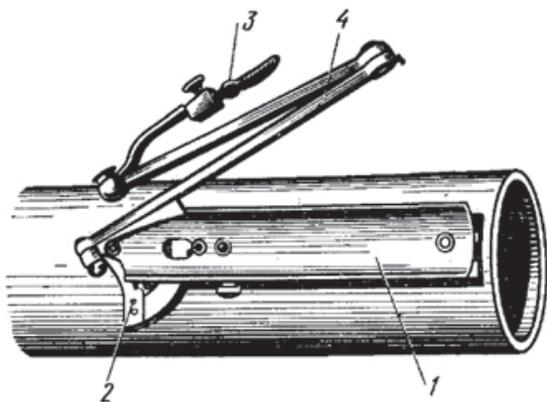


Рисунок 1 – Шарнирное приспособление для разметки труб:

1 – призма, 2 – транспортир, 3 – карандаш, 4 – шарнирный рычаг

Figure 1 – Swivel device for marking pipes:

1 – prism, 2 – protractor, 3 – pencil, 4 – swivel lever

Для разметки на трубах отверстий под штуцера используют универсальный циркуль (рисунок 2), он позволяет размечать отверстия под любым углом врезаемого штуцера. Циркуль закрепляют на трубе и поворотом штанги-чертилки, установленной на необходимый радиус, размечают отверстия¹. При разметке врезок, расположенных под углом к оси трубы, стойку устанавливают на нужный угол. С помощью данного циркуля размечают шаблоны, очерчивая контуры отверстия на бумаге, картоне, жести, накрученной на трубу нужного диаметра¹².

Для разметки линий обрезки торцов штуцеров под врезку, секторов и полусекторов сварных отводов часто применяют шаблоны.

Размеры для изготовления шаблонов должны быть указаны в рабочих чертежах или нормалях; в случае их отсутствия размеры находят графическим способом [4].

Описанные выше способы разметки труб и фитингов, плазировка, специализированная оснастка, разметка по шаблонам являются способами, отличающимися значительной трудоемкостью как самой операции разметки, так и операций по изготовлению шаблона или технологической оснастки, требующих высокой квалификации работника, также не покрывающих широких диапазонов размеров изделий, выпускаемых на предприятиях¹³.

Разработка способа и методики, позволяющих полностью или частично автоматизировать процесс разметки и последующей обработки элементов трубопроводов, является важной и актуальной задачей, имеющей большую практическую полезность для предприятий народного хозяйства, занятых в области производства подъемно-транспортных, строительных машин¹⁴ [5] и оборудования, комплексов по переработке сырья, а также энергетическом машиностроении.

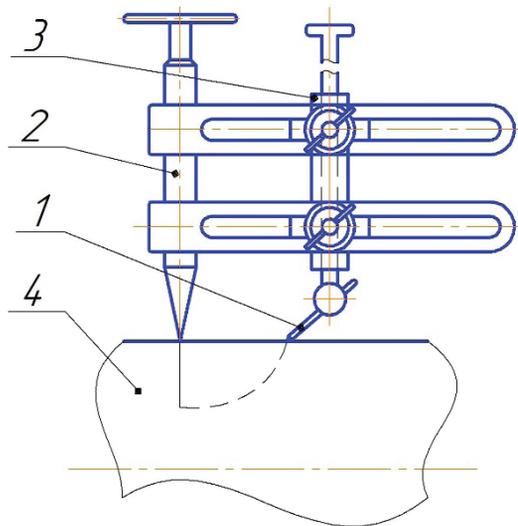


Рисунок 2 – Универсальный циркуль для разметки отверстий на трубах:

1 – чертилка, 2 – установочная ножка, 3 – подвижная ножка, 4 – труба

Figure 2 – Universal compass for marking holes on pipes:

1 – scribe, 2 – mounting foot, 3 – movable jaw, 4 – pipe

¹¹ Основы машиностроительной гидравлики / Т.В.Алексеева, Н.С. Галдин, Э.Б. Шерман, В.С.Щербаков. 87 с.

¹² Там же.

¹³ Lebedev L.V. The beginnings of technological design: Textbook. Belgorod : BTISM, 1992. 81 p.

¹⁴ Добронравов С.С., Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование. 445 с.

В пункте 5.1. РД 03-606-03 указывается, что «допускается применение других средств визуального и измерительного контроля при условии наличия соответствующих инструкций, методик их применения». Это означает, что разработчики инструкции, несмотря на достаточно полный перечень мерительных инструментов, охватывающий обширную область операций разметки и измерения, описанный в ней, предусматривают появление новых инструментов и методик, позволяющих решать те же задачи, но с меньшей трудоёмкостью и большей точностью.

Для решения ряда задач, допускающих произвести автоматизированную разметку крутозагнутых штампосварных отводов, коллектив исследователей предлагает использовать роботизированную систему на базе антропоморфного робота и теорию триангуляционного метода измерения.

Триангуляционный метод контроля базируется на расчете искомого расстояния через соотношения треугольника с использованием известных параметров системы. Он позволяет измерять как относительное изменение расстояния от датчика до контролируемого объекта, так и абсолютную его величину. При этом контролируемое расстояние может иметь масштаб от нескольких микрометров до сотен и тысяч метров.

Первой задачей, решение которой рассматривается в настоящей работе и приближает исследователей к созданию автоматизированного разметочного роботизированного комплекса, является определение положения средней плоскости отвода и расположение оси рабочего инструмента робота в этой плоскости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Так как отводы представляют собой штампосварные конструкции (рисунок 3) различного диаметра и радиуса в зависимости от типоразмера, необходимо, чтобы методика определения координат измерительной базы отвода и последующего центрирования рабочего инструмента в ней была универсальна и

не требовала дополнительного технологического оснащения при изменении типоразмера отвода.

Вследствие высокой массы и неидеальности поверхности заготовки, полученной штамповкой, процесс установления заготовки на измерительную базу, нижнюю образующую заготовки отвода вызывает значительные затруднения. Предлагаемая методика рекомендует в качестве измерительной базы использовать скрытую базу – среднюю плоскость отвода (рисунок 4). Средняя плоскость отвода – это плоскость, проходящая через наименьшую по длине внутреннюю образующую и наибольшую по длине внешнюю образующую отвода.

Из описания средней плоскости отвода следует, что роботизированная система должна уметь позиционироваться таким образом, чтобы ось измерительного инструмента находилась в плоскости, параллельной средней плоскости отвода, то есть устанавливать требуемый угол поворота луча измерительного прибора относительно некоторого теоретического отрезка AB некоторой плоскости OXY (на рисунке 4 совпадает со средней плоскостью). При этом расстояние D от нижней образующей отвода до точки A и расстояние C от нижней образующей отвода до точки B должны быть одинаковыми.



Рисунок 3 – Плазировка и разметка отвода крутозагнутого штампосварного в реальных производственных условиях

Figure 3 – Marking of pipe taps in real manufacturing conditions

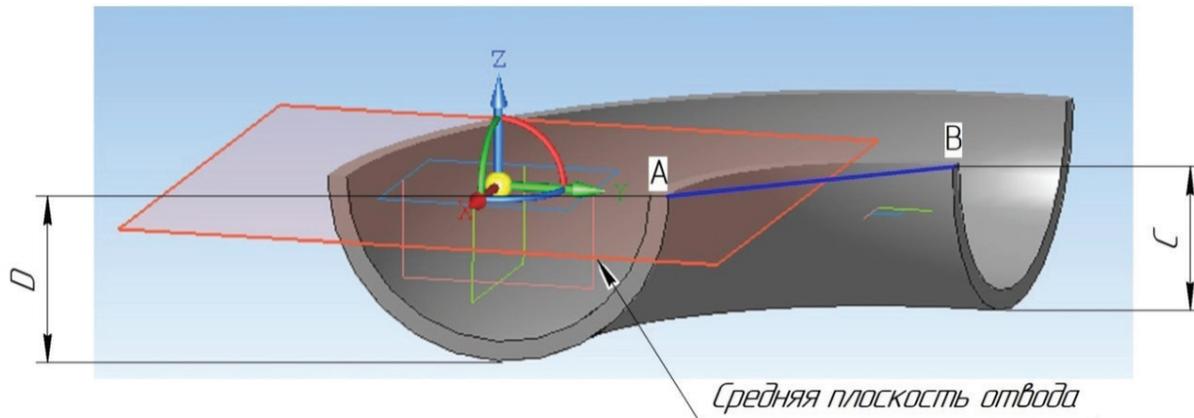
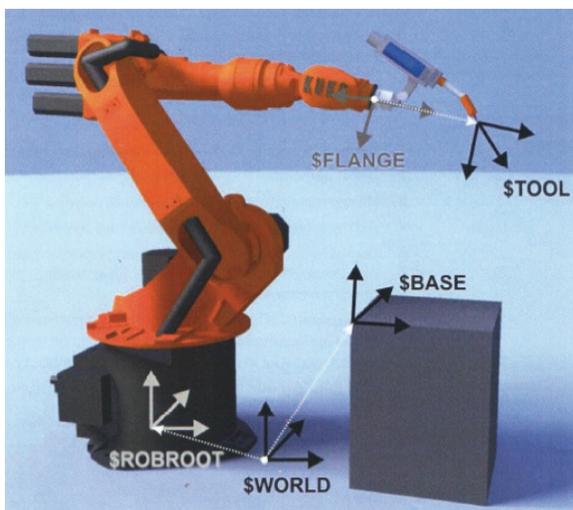
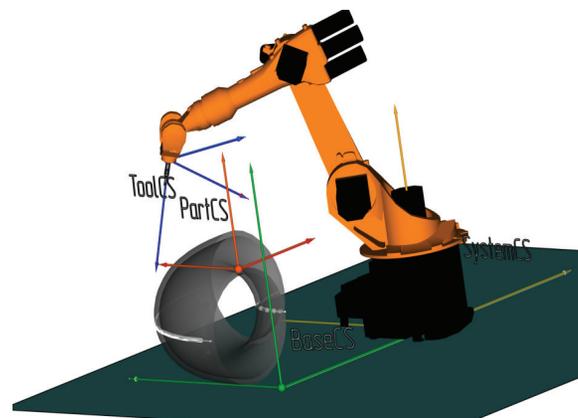


Рисунок 4 – Теоретическое положение средней плоскости отвода

Figure 4 – Theoretical placement of the average plane of the pipe tap



а



б

Рисунок 5 – Системы координат антропоморфного робота: а – системы координат робота, б – системы координат при определении средней плоскости отвода

Figure 5 – Coordinate systems of the anthropomorphic robot: a – coordinate systems of the robot, b – coordinate systems in determining the average plane of the pipe tap

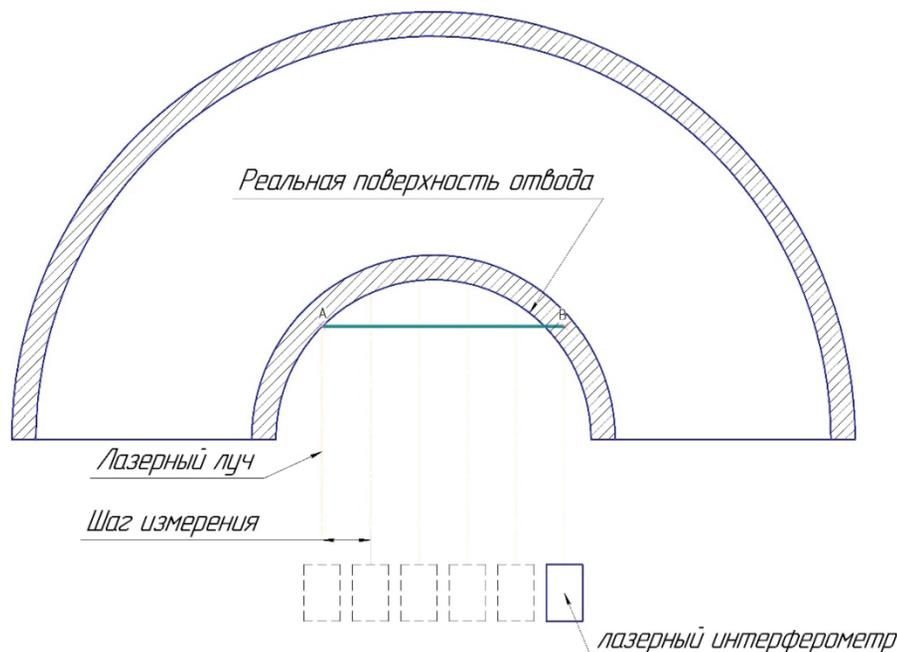


Рисунок 6 – Схема измерения длины дуги

Figure 6 – Measurement scheme of the arc length

Далее следует рассмотреть системы координат, имеющиеся у антропоморфного робота, для того чтобы понять, каким образом можно задать программным методом положение теоретического отрезка AB . Системы координат антропоморфного робота представлены на рисунке 5^{15, 16, 17}.

Как видно из рисунка 5, при управлении роботом в системе заданы следующие системы координат:

1. ROBROOT – система координат основания робота, зафиксированная в основании робота.
2. WORLD – универсальная система координат, по умолчанию совпадает с системой координат ROBROOT, при необходимости может быть «выдвинута» из основания робота.
3. BASE – основная система координат, свободно определяемая заказчиком, используется для калибровки заготовок и приспособлений.
4. FLANGE – система координат фланца, зафиксирована во фланце робота, является отсчетной точкой системы координат TOOL.
5. TOOL – система координат инструмен-

тов, свободно определяется заказчиком, используется для калибровки инструментов [8].

Система робота позволяет определить систему координат BASE [6], например путем указания трех точек на базовой плоскости (плазу), на которой расположены заготовка отвода и указания направления оси Z . Указание точек производится путем ручной калибровки. Учитывая то, что плаза является откалиброванной площадкой с высокой степенью плоскостности, а плоскость XOY системы координат BASE задана и известна системе робота¹⁸, мы без труда можем задать условие, когда перемещение интерферометра [7] будет проходить в плоскости, параллельной плоскости плаза, то есть без изменения координаты по оси Z . Начальная точка A и конечная точка B задаются также вручную [8, 9].

Сущность методики заключается в итерационном определении длины дуги с помощью лазерной интерферометрической измерительной системы, которая перемещается роботом вдоль отрезка AB без изменения координаты

¹⁵ KUKA System Software 8.3 – Instructions for system integrators.

¹⁶ ProgExperteBHR5.2 09.03.00 en. KR C3 Expert Programming KUKA System Software (KSS).

¹⁷ Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд. СПб. : БХВ Петербург. 2007. С. 14–30.

¹⁸ KUKA System Software 8.3 – Instructions for system integrators.

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

по оси Z, при этом ось инструмента должна быть перпендикулярна отрезку AB, и производится замер расстояний до объекта с заданным шагом. Известно, что длина дуги – это предел, к которому стремится периметр вписанной в эту дугу ломаной, когда число её звеньев неограниченно растет, а наибольшая из длин звеньев L стремится к нулю, или в математическом представлении

$$l = \lim_{\max \Delta L_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n \Delta L_i.$$

Из определения ясно, что необходимо замерить расстояние до объекта измерения через определенный шаг, записать координаты этих точек, далее произвести вычисление длин полученных отрезков и их суммирование. Таким образом, получается приближенное значение длины дуги, которая будет вычислена тем точнее, чем меньший шаг измерений будет задан¹⁹. Схема измерения показана на рисунке 6.

Зная шаг измерения (задается оператором), а именно величину одного катета прямоугольного треугольника, и рассчитав модуль величины второго катета как разность длин от интерферометра до поверхности отвода, по теореме Пифагора можно вычислить величину гипотенузы, то есть длину звена. Получив сумму всех звеньев после измерения, мы узнаем длину дуги в конкретном положении (угле наклона) измерительного инструмента относительно отрезка AB. Путем итерационного сравнения длин дуг при различных углах наклона измерительного инструмента можно вычислить то положение, при котором длина дуги будет минимальной, то есть будет описывать окружность, близкую к правильной (рисунок 7), а значит, ось инструмента будет находиться в плоскости, параллельной средней плоскости заготовки отвода. Если же длина дуги больше минимальной возможной, то ось инструмента пересекает плоскость, и дуга имеет параболическую форму (рисунок 8), её длина, очевидно, больше длины правильной окружности (см. рисунок 7).

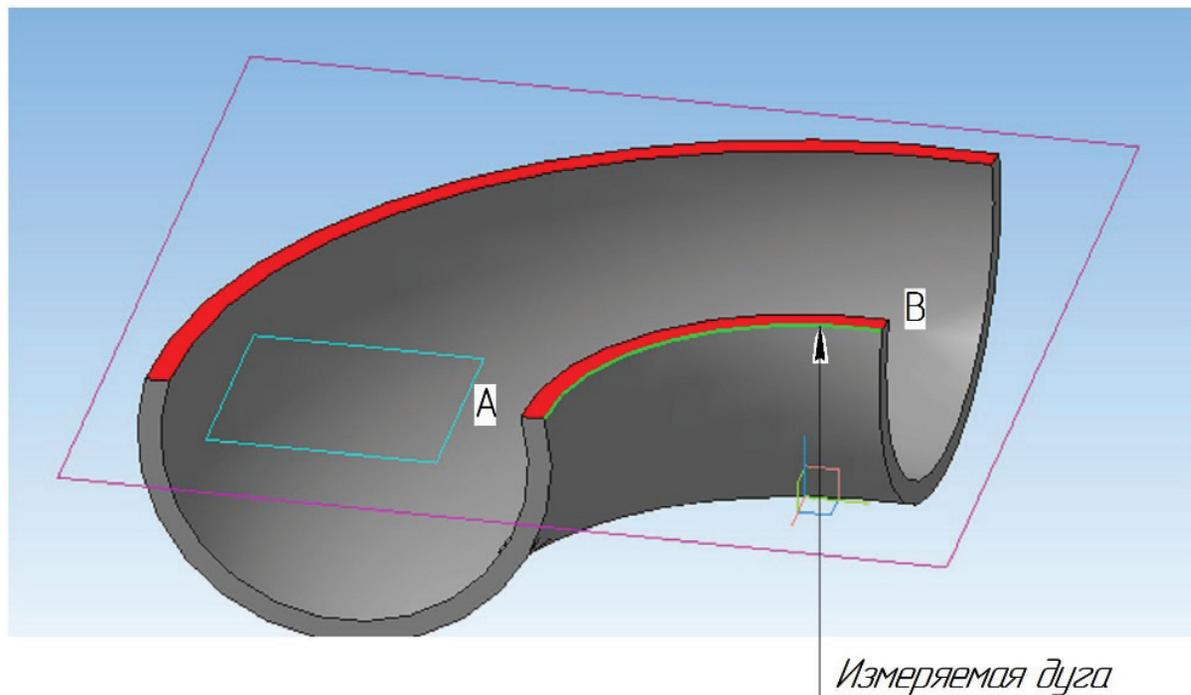


Рисунок 7 – Дуга внутреннего радиуса заготовки отвода в случае расположения оси инструмента в плоскости, параллельной средней плоскости отвода

Figure 7 – Inner radius arc of the pipe tap in case of the location of tool axis in the plane, which is parallel to the average plane of the pipe tap

¹⁹ Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М. : АСТ : Астрель, 2006. 991 с.

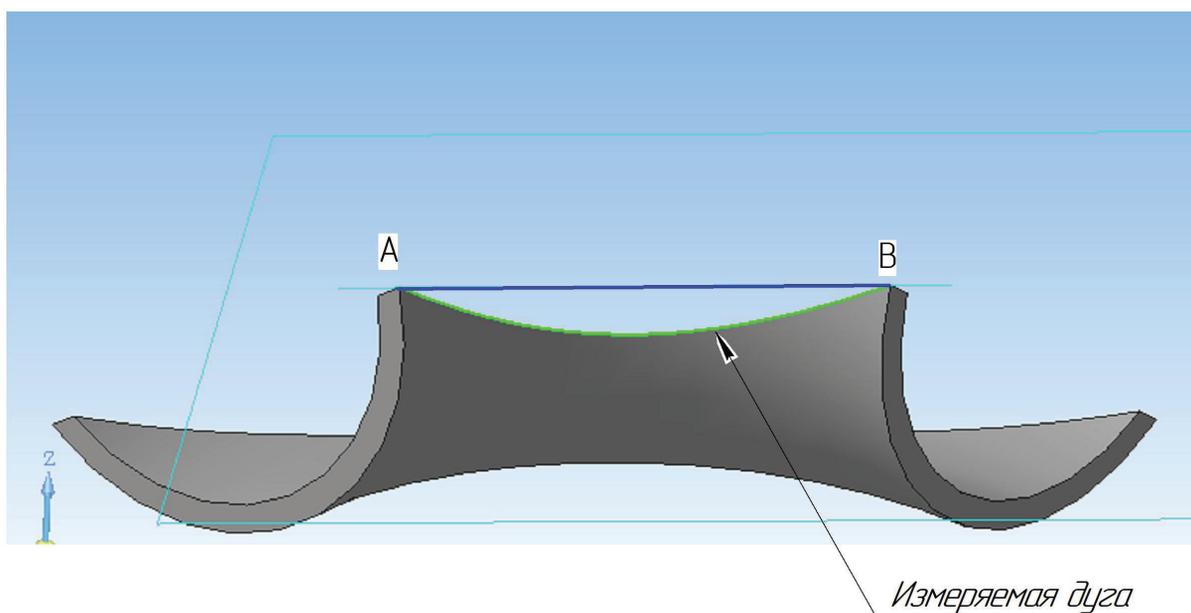


Рисунок 8 – Дуга внутреннего радиуса заготовки отвода в случае расположения оси инструмента в плоскости, не параллельной средней плоскости отвода

Figure 8 – Inner radius arc of the pipe tap in case of the location of tool axis in the plane, which is non – parallel to the average plane of the pipe tap

Таким образом, установив положение измерительного инструмента так, чтобы его ось лежала в плоскости, параллельной средней плоскости заготовки отвода, и аналогичным методом изменяя теперь уже координату Z системы координат BASE итерационным методом, сравнивая длины дуг на разных высотах по оси Z , определим координату Z , в которой длина дуги будет минимальной, а значит, именно через эту точку проходит средняя плоскость заготовки отвода.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результатами работы является разработанная методика итерационного определения координат положения скрытой измерительной базы в виде средней плоскости заготовки отвода путем сравнения длин дуг при различном положении (угле наклона) измерительного инструмента относительно некоторого зада-

ваемого теоретического отрезка AB и последующем сравнении длин дуг при изменении координат по оси Z .

Разработанная методика в последующем позволит производить разметку заготовок отводов путем геометрического расчета координат требуемых точек относительно положения средней плоскости заготовки отвода, а также нанесения меток на заготовку режущим инструментом, лазером или гравёром.

Блок-схема, описывающая представленный в работе метод определения угла наклона средней плоскости по отношению к плоскости $YOX(BASE)$, показана на рисунке 9. Определение координаты Z , в которой находится средняя плоскость отвода, производится по аналогичному алгоритму, только при итерационном изменении координаты Z , а не угла наклона инструмента.

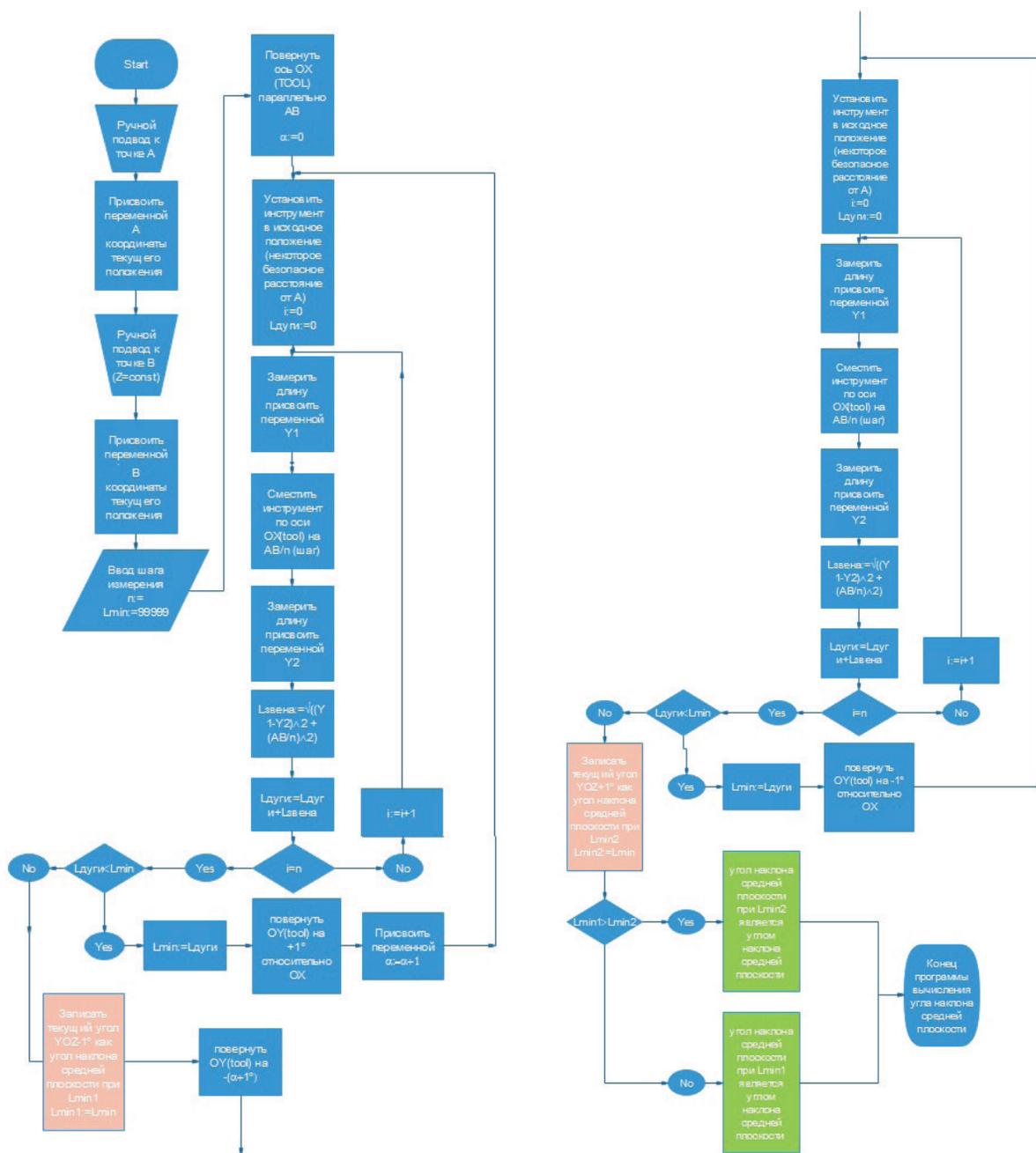


Рисунок 9 – Блок-схема определения угла наклона средней плоскости заготовки отвода (начало)

Figure 9 – Block diagram of the incidence angle determination of the average plane (the beginning)

Рисунок 9 – Блок-схема определения угла наклона средней плоскости заготовки отвода (окончание)

Figure 9 – Block diagram of the incidence angle determination of the average plane (the end)

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование метода управления рабочим процессом строительного манипулятора в виде антропоморфного робота на основе разработанной методики определения средней плоскости заготовок позволит значительно сократить трудоемкость выполнения операции, повысить точность и существенно сократить время разметки заготовок отводов труб, например при проведении монтажных работ, связанных с ремонтом или строительством битумопроводов АБЗ.

В ходе исследования была разработана методика определения координат средней плоскости отвода, описан процесс вычисления длины дуги триангуляционным методом, составлен алгоритм определения угла наклона средней плоскости заготовки отвода при помощи антропоморфного робота.

Снижение трудоемкости выполнения операций разметки трубопроводов АБЗ обеспечивается заменой ручного труда разметчика, выполняющего разметку на плазу и перенос этой разметки с плаза на заготовку, на процесс автоматизированного получения виртуального профиля заготовки с использованием триангуляционного метода измерения, алгоритмического вычисления координат скрытой базы заготовки (ее средней плоскости) и автоматизированного нанесения разметки строительным манипулятором на заготовку.

Повышение точности нанесения разметки обеспечивается за счет точности позиционирования рабочих органов антропоморфного робота, имеющего сервоприводы с обратной связью и применяемых лазерных измерительных приборов, позволяющих обеспечить позиционирование рабочего органа с точностью до 0,08 мм, а также стационарном положении размечаемой заготовки относительно антропоморфного робота. Такая точность обеспечивает безусловное соответствие тем требованиям, которые предъявляются нормативной документацией²⁰ к точности измерения при проведении разметочных операций, так как минимально допустимая погрешность измерений для размеров до 0,5 мм составляет 0,1 мм. Повышение точности нанесения разметки, по мнению авторов, гарантирует отсутствие появления брака на последующих операциях разделки кромок и монтажа элементов трубопроводов АБЗ из-за отклонений, унаследованных на операциях разметки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гончаренко И.А., Рябцев В.Н. Датчики контроля состояния инженерных и строительных конструкций на основе оптических волноводных структур // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2013. № 1(17). С. 118–132.
2. Чепчуров М.С., Четвериков Б.С. Позиционирование изделия в процессе автоматизированного бесконтактного контроля формы его поверхности качения // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». 2016. № 2. С. 99–103.
3. Чепчуров М.С., Табекина Н.А., Четвериков Б.С. Влияние явления дифракции света на точность автоматизированного процесса определения геометрических параметров профиля объектов // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». 2016. №1. С. 90–93.
4. Mordasov, M.M. and Savenkov, A.P (2015), Measurement of geometric parameters of interfaces of gas-liquid systems, Measurement Techniques, no. 7, pp. 47 - 49.
5. Romanovich A.A., 2013. Definition of the center of mass of the ball load the first chamber of the mill, equipped with paddle energy-exchanged devices : Scientific Vestnik of NSTU, 2(51): 166–171. (in Russian).
6. Интеграция ИТ и автоматизации. Wonderware System Platform 3.0 // Промышленные АСУ и контроллеры. 2008. № 10. С. 44–48.
7. Leontieva, G.V., Pinaev, L.V. and Seregin A.G. (2012), Laser meter of non-rectilinearity, Laser string, Journal of Optical Technology, no. 10, pp. 52 – 57.
8. Ицкович Э.Л. Современные беспроводные сети связи в системах автоматизации на промышленных предприятиях // Датчики и системы. 2008. № 6. С. 19–23.
9. Spur, G. et al.: Design Rules for Integration of Industrial Robots into CIM-Systems. In: Espirit '84. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1985. P. 17 – 19.

REFERENCES

1. Goncharenko I.A., Rjabcev V.N. Datchiki kontrolja sostojanija inzhenernyh i stroitel'nyh konstrukcij na osnove opticheskikh volnovodnyh struktur [Sensors for monitoring the state of engineering and building structures based on

²⁰ РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю. 58 с.

optical waveguide structures]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2013; 1(17): 118–132 (in Russian).

4. Chepchurov M.S., Chetverikov B.S. Pozicionirovanie izdelija v processe avtomatizirovannogo beskontaktnogo kontrolja formy ego poverhnosti kachenija [Positioning the product in the process of automated contactless control of the shape of its rolling surface]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2016; 2: 99–103 (in Russian).

5. Chepchurov M.S., Tabekina N.A., Chetverikov B.S. Vlijanie javlenie difrakcii sveta na tochnost' avtomatizirovannogo processa opredelenija geometricheskikh parametrov profilja ob'ektov [Influence of the light diffraction on the accuracy of the automated process of determining the geometric parameters of the objects' profile]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2016; 1: 90–93 (in Russian).

7. Mordasov M.M., Savenkov A.P. (2015), Measurement of geometric parameters of the gas-liquid systems interfaces, *Measurement Techniques*; 7: 47–49.

11. Romanovich A.A., 2013. Definition of the center of mass of the ball load the first chamber of the mill, equipped with paddle energy-exchanged devices: *Scientific Vestnik of NSTU*; 2(51): 166–171.

13. Integracija IT i avtomatizacii. Wonderware System Platform 3.0. *Promyshlennye ASU i kontrollery*, 2008; 10: 44–48.

14. Leontieva G.V., Pinaev, L.V. and Seregin A.G. (2012), Laser meter of non-rectilinearity, Laser string, *Journal of Optical Technology*; 10: 52–57.

15. Ickovich Je.L. Sovremennye besprovodnye seti svjazi v sistemah avtomatizacii na promyshlennyh predpriyatijah [Modern wireless communication networks in automation systems at industrial enterprises]. *Datchiki i sistemy*, 2008; 6: 19–23 (in Russian).

16. Spur G. et al.: Design Rules for Integration of Industrial Robots into CIM-Systems. In: *Espirit'84*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1985; 17–19.

Поступила 23.02.2019, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой

заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Любимый Николай Сергеевич – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ПТУ-ДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0002-6131-3217 (г. Белгород, e-mail: nslubim@bk.ru).

Четвериков Борис Сергеевич – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры ПТУ-ДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0003-1801-6767 (г. Белгород, e-mail: await_rescue@mail.ru).

Чепчуров Михаил Сергеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0002-0896-8265 (г. Белгород, e-mail: avtpost@mail.ru).

Одобеско Иван Алексеевич, студент 5-го курса кафедры ПТУДМ ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова, ORCID 0000-0001-9544-8788 (г. Белгород, e-mail: odobesko.ivan@gmail.com)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lyubimyi Nikolay Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Lifting Machines Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID 0000-0002-6131-3217 (Belgorod, Russia, e-mail: nslubim@bk.ru).

Chetverikov Boris Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Lifting Machines Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID 0000-0003-1801-6767 (Belgorod, Russia, e-mail: await_rescue@mail.ru).

Chepchurov Mihail Sergeevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Mechanical Engineering Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID 0000-0002-0896-8265 (Belgorod, Russia, e-mail: await_rescue@mail.ru).

Odobesko Ivan Alekseevich – Student, Lifting Machines Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID 0000-0001-9544-8788 (Belgorod, Russia, e-mail: odobesko.ivan@gmail.com).

ВКЛАД АВТОРОВ

Любимый Н.С. Проведены консультации с представителями производства по поводу внедрения технологии. Составлена модель определения средней плоскости отвода с применением робототехнического комплекса.

Четвериков Б.С. Рассмотрена возможность интеграции робототехнического комплекса в существующее производство. Произведен анализ и подбор оптических систем контроля геометрических параметров звена.

Чепчуров М.С. Анализ существующих пакетов программного обеспечения (САМ-модулей). Математическое описание методики определения средней плоскости отвода.

Одобеско И.А. Участие в обсуждении проблемы с представителями производства. Перевод статьи на английский язык. Построение алгоритмической модели определения угла наклона средней плоскости заготовки отвода.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Lyubimyi N.S. – consultations with company representatives on the technology introduction; the compiling the model for determining the average work layout plane using a robotic complex.

Chetverikov B.S. – integration possibility of a robotic complex into an existing production; analysis and selection of optical systems for monitoring geometric parameters of the workpiece.

Chepchurov M.S. – analysis of existing software packages (CAM modules); mathematical description of methods for determination the average plane of the pipe tap.

Odobesko I.A. – participation in the discussion of the problem with representatives of the company; construction of an algorithmic model for determining the incidence angle of the workpiece average plane.

УДК 621.873.2/.3

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ МЕСТНОЙ И ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА

***Е.А. Потахов**

*Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия
epotakhov@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящей статье исследуется общая и местная устойчивость телескопической стрелы (ТС).

Методы. Применяются методы аналитического исследования колебательных систем с конечным числом степеней свободы; методы раздела механики деформируемого твердого тела – сопротивления материалов; среда *Solid Edge Simulation* – программа анализа методом конечных элементов, основанная на технологии анализа *FEA Femap* и решателе *NX Nastran*.

Результаты. В результате исследований была разработана методика контроля общей и местной устойчивости ТС. Использование расчета на общую устойчивость ТС позволяет определять грузовысотные характеристики, параметры рабочего оборудования, обеспечивающие устойчивое состояние системы, и отслеживать общее устойчивое состояние ТС в функции характеристик ТС. Применение расчета на местную устойчивость позволяет отслеживать максимальное напряженное состояние ТС, являющееся критерием местной устойчивости, что предоставляет возможность контроля устойчивости наиболее нагруженных полок и стенок. Предлагаемая методика расчета напряженного состояния впервые учитывает совместное действие внешних и местных горизонтальных и вертикальных нагрузок.

Заключение. Применение методики контроля общей и местной устойчивости ТС позволяет при проектировании автоматизировано устанавливать наиболее оптимальные характеристики рабочего оборудования, включать разработанную методику в систему безопасности крана, повышать уровень безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, оснащенных ТС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: телескопическая стрела, местная устойчивость, эквивалентные напряжения, опорные элементы, боковые упоры.

© Е.А. Потахов



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

CONTROL TECHNIQUE OF LOCAL AND GENERAL STABILITY OF THE LOADING CRANE'S TELESCOPIC BOOM

*E.A. Potakhov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
St. Petersburg, Russia
*epotakhov@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The paper examines the overall and local stability of a telescopic boom (TS).

Materials and methods. The author uses methods for analytical research of oscillatory systems with a finite number of degrees and methods of the Deformable Solid Mechanics, such as Material Resistance. Moreover, the author applies Solid Edge Simulation as finite element analysis program based on FEA Femap analysis technology and the NX Nastran solver.

Results. As a result, the author develops a methodology for monitoring the overall and local stability of the vehicle. The usage of the calculation for the overall stability of the vehicle allows to determine the load-height characteristics, parameters of the working equipment that ensure the steady state of the system, and also to track the overall steady state of the vehicle as a function of the vehicle characteristics. In addition, the usage of local stability calculation allows to track the maximum stress state of the vehicle, which is a criterion of local stability and provides the ability to monitor the stability of the most loaded shelves and walls. The proposed method for calculating the stress state takes into account the combined effect of external and local horizontal and vertical loads.

Discussion and conclusions. The usage of methods of monitoring the overall and local stability of the vehicle allows to set automatically the most optimal characteristics of the working equipment, including the developed method in the crane safety system, and to increase the level of safe operation of load-lifting cranes equipped with vehicles.

KEYWORDS: telescopic boom, local stability, equivalent stresses, support elements, side stop.

© E.A. Potakhov



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время самоходные грузоподъемные краны стрелового типа, оснащенные телескопическим стреловым оборудованием, находят широкое применение при выполнении погрузочно-разгрузочных, перегрузочных, транспортных, монтажно-сборочных и складских работ¹. Это обусловлено рядом достоинств применения телескопической стрелы (ТС): возможностью работы в стесненных условиях, получением различной длины стрелы в диапазоне разности максимальной и минимальной длин, коротким временем позиционирования, что значительно повышает производительность грузоподъемных машин.

В то же время стреловые самоходные краны (ССК) являются объектами повышенной производственной опасности и их эксплуатация связана с вероятностью возникновения аварийных ситуаций с негативными технико-экономическими и социальными последствиями. К основным причинам, приводящим кран к авариям и несчастным случаям, можно отнести ненормированное нагружение ТС [1]. В связи с тем, что ТС является одним из наиболее дорогостоящих элементов стрелового крана [2], актуальность исследования критических режимов нагружения стрелового оборудования обуславливается не только критериями безопасной эксплуатации грузоподъемной машины, но и экономическими факторами.

Критическим состоянием механической системы является выход системы из устойчивого состояния равновесия². Нарушение равновесного состояния ТС может быть вызвано:

1. Потерей общей устойчивости ТС.

2. Потерей местной устойчивости стенок и полок.

Потеря общей устойчивости ТС может произойти, например, в результате деформации гидроцилиндра подъема. Тема нагружения гидроцилиндра широко изучена. Также потеря

общей устойчивости ТС может быть обусловлена значительной опрокидывающей нагрузкой со стороны груза и неверным соотношением характеристик ТС (масса, длина, вылет, жесткость секций; моменты инерции секции и сечений ТС) при определенном вылете. Данная проблема тесно связана с устойчивостью крана, которой было посвящено множество исследований³ [3, 4, 5]. Однако все существующие работы учитывают ограниченное количество характеристик ТС, в результате чего не представляется возможным установить наиболее оптимальные значения масс, длин, вылетов, жесткости, моментов инерции, количества и других секций стрелового оборудования.

Местная устойчивость ТС определяется напряженно-деформированным состоянием наиболее нагруженных участков ТС⁴. Данная тема была изучена в ряде работ^{5, 6} [6, 7, 8, 9, 10], но во всех существующих исследованиях рассматривается напряженность полок и стенок ТС, которая вызвана действием только вертикальных нагрузок в статическом режиме.

Задачей исследования является разработка методики определения предельного состояния ТС при проектировании и в режиме реального времени при эксплуатации крана в функции характеристик стрелового оборудования и наибольшей нагруженности его элементов, обусловленной нагрузками в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Пути реализации предложенного способа никогда не предлагались.

Необходимость определения критического состояния ТС существует при двух обстоятельствах: на стадии проектирования и при эксплуатации крана.

С целью идентификации (установления и предотвращения) критического состояния ТС была разработана методика контроля общей и местной устойчивости ТС (рисунок 1), использование которой при помощи ЭВМ позво-

¹ Александров М.П. Грузоподъемные машины : учебник для вузов. М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана : Высшая школа, 2000. 552 с.

² Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Изд. 3-е, доп. и переработ. Л. : Машиностроение, 1976. 320 с.

³ Панкратов С.А., Ряхин В.А. Основы расчета и проектирования металлоконструкций строительно-дорожных машин. М. : Машиностроение, 1967. 344 с.

⁴ Ряхин В.А., Мошкарёв Г.И. Долговечность и устойчивость сварных конструкций строительных и дорожных машин. М. : Машиностроение, 1984. 232 с.

⁵ Там же.

⁶ Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Машиностроение, 1969. 520 с.

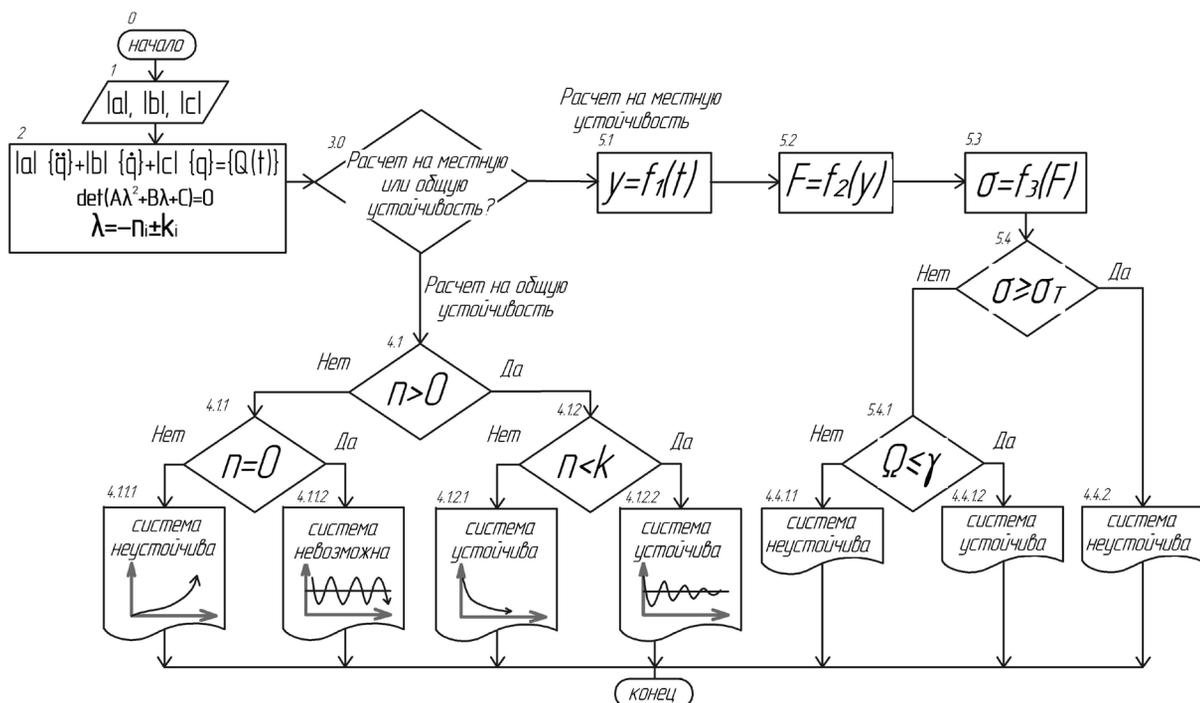


Рисунок 1 – Схема методики контроля общей и местной устойчивости ТС

Figure 1 – Scheme of the control technique of CU general and local stability

лит автоматизировано устанавливать наиболее рациональные характеристики рабочего оборудования при проектировании, а также при включении в систему безопасности крана повысить уровень безопасной эксплуатации ССК, оборудованных ТС.

Методика контроля общей и местной устойчивости ТС заключается в следующем. На первом этапе посредством введения входных параметров формируются матрицы жесткости, инерции и диссипации системы, учитывающие характеристики ТС [масса, жесткости, длины, вылеты, моменты инерций секций и гидроцилиндров телескопирования (ГЦТ); масса груза и ГЦТ; жесткости каната и ГЦТ]. Далее следуют два варианта расчета: на местную и общую устойчивость.

РАСЧЕТ НА ОБЩУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ТС

При отсутствии возмущающего воздействия (инерционные нагрузки ТС и груза в периоды неустановившегося движения; на-

грузки, обусловленные просадкой и внезапным снятием нагрузки) на основе первого блока составляется и затем решается система линейных однородных дифференциальных уравнений, описывающая свободные колебания динамической модели в вертикальной и горизонтальной плоскостях (блок 2).

Корнями определителя системы являются комплексные и попарно сопряженные величины вида

$$\lambda_i = -n_i \pm ik_i, \quad (1)$$

где n_i – коэффициенты демпфирования; k_i – собственные частоты демпфированной системы, которые определяются: $k = \sqrt{k_0^2 - n^2}$, k_0 – собственная частота соответствующей консервативной системы^{7, 8} [3, 15].

При $n < 0$ система неустойчива в связи с возрастающим характером графика изменения обобщенных координат (см. рисунок 1, блок 4.1.1.1). В условиях существования сил

⁷ Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. 320 с.

⁸ Челомей В. Н. Вибрации в технике: справочник : в 6 т. / ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). М. : Машиностроение, 1978, Т. 1. Колебания линейных систем / под ред. В. В. Болотина. 352 с.

тяжести и сопротивлений и отсутствия возмущающего воздействия периодическое незатухающее движение (при $n=0$) невозможно, поэтому такое решение уравнения указывает на неверное соотношение вводимых входных параметров (см. рисунок 1, блок 4.1.1.2).

Корни вида $n \geq k$ (k_0) характеризуют монотонное затухающее движение и устойчивость состояния равновесия механической системы (см. рисунок 1, блок 4.1.2.1). Коэффициент демпфирования в диапазоне: $0 < n < k$ (k_0) соответствует состоянию устойчивости системы и совершению ею собственных затухающих колебаний (см. рисунок 1, блок 4.1.2.2).

Данная методика применима только к системе, движение которой характеризуется свободными колебаниями. В связи с этим при контроле устойчивости по коэффициентам демпфирования ТС, испытывающей возмущающее воздействие, вынужденное движение системы с допущением сводится к свободному: например, нагрузка переводится в дополнительную массу груза или секции. Реализация данной операции при включении предлагаемой методики в систему безопасности ССК может заключаться в переводе микроконтроллером значений датчика нагрузки.

РАСЧЕТ НА МЕСТНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ТС

ТС представляет собой консольную конструкцию переменного сечения, состоящую из сопрягаемых между собой тонкостенных неподвижной (корневой) и нескольких подвижных секций, имеющих в поперечном сечении замкнутый контур и каждая последующая из которых входит внутрь предыдущей. Каждая из подвижных секций опирается на опорные элементы, установленные в нижней передней части основания, а сзади – на опорные элементы, установленные в своей верхней части. От бокового смещения секции удерживаются боковыми упорами. Опорные элементы и боковые упоры располагаются в одних сечениях ТС.

В качестве механизма выдвигания и втягивания секций наиболее часто используется гидроцилиндр телескопирования (ГЦТ), который, обладая собственной изгибной жесткостью и некоторой массой, оказывает значительное влияние на колебательный процесс и нагружение стрелового оборудования.

При нагружении в вертикальной плоскости можно выделить три расчетных положения ТС (рисунок 2) : 1-е расчетное положение – нормированное нагружение стрелового оборудования, при котором на ТС действует вес груза, нагружаются опорные элементы; 2-е и 3-е расчетные положения образуются в результате действия инерционной нагрузки от внезапного снятия веса груза. 2-е расчетное положение характеризуется опиранием на цапфы ГЦТ без контактирования секций при забросе ТС вверх. При 3-м расчетном положении заброс секций сопровождается ударными взаимодействиями внешней и внутренней секций в точках A, B, C, D и более значительной по величине инерционной силой.

Нагружение ТС в горизонтальной плоскости также можно подразделить на три аналогичные с горизонтальными расчетными положениями (рисунок 3), отличающимися отсутствием действия силы тяжести и опоры корневой секции, обусловленной ГЦ подъема, а также местом приложения местных нагрузок: секции опираются на боковые упоры, опорные нагрузки воздействуют на стенки ТС.

Внешними нагрузками при повороте ТС являются касательная и центробежная силы инерции. Влияние центробежной силы находится по известным методикам действия осевой нагрузки на стержень⁹. При режиме нагружения ТС в 1-м горизонтальном положении нулевое значение принимают реакции $R_I^n, R_{II}^n, R_{III}^n, R_{IV}^n$, при действии горизонтальной инерционной силы, направленной в сторону поворота (3-е положение), нулевое значение принимают реакции $R_I^n, R_{II}^n, R_{III}^n, R_{IV}^n$. 2-е горизонтальное расчетное положение возможно при наличии межсекционных зазоров.

При 2-м и 3-м горизонтальном и вертикальном расчетных положениях на каждую нижнюю секцию ТС, помимо возмущающих сил от опорных элементов и ударных взаимодействий со стороны соответствующей верхней секции, действуют инерционные силы $F_{ин01}, F_{ин02}, F_{ин11}, F_{ин11'}$, равные по величине и противоположные по направлению соответствующим возмущающим силам при 1-м расчетном положении (например, для 2-го вертикального положения $F_{ин01} = F_I, F_{ин02} = F_{II}, F_{ин11} = F_{III}, F_{ин11'} = F_{IV}$).

⁹ Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов. 2-е изд., перераб. и доп. Киев : Наук. думка, 1988. 736 с.

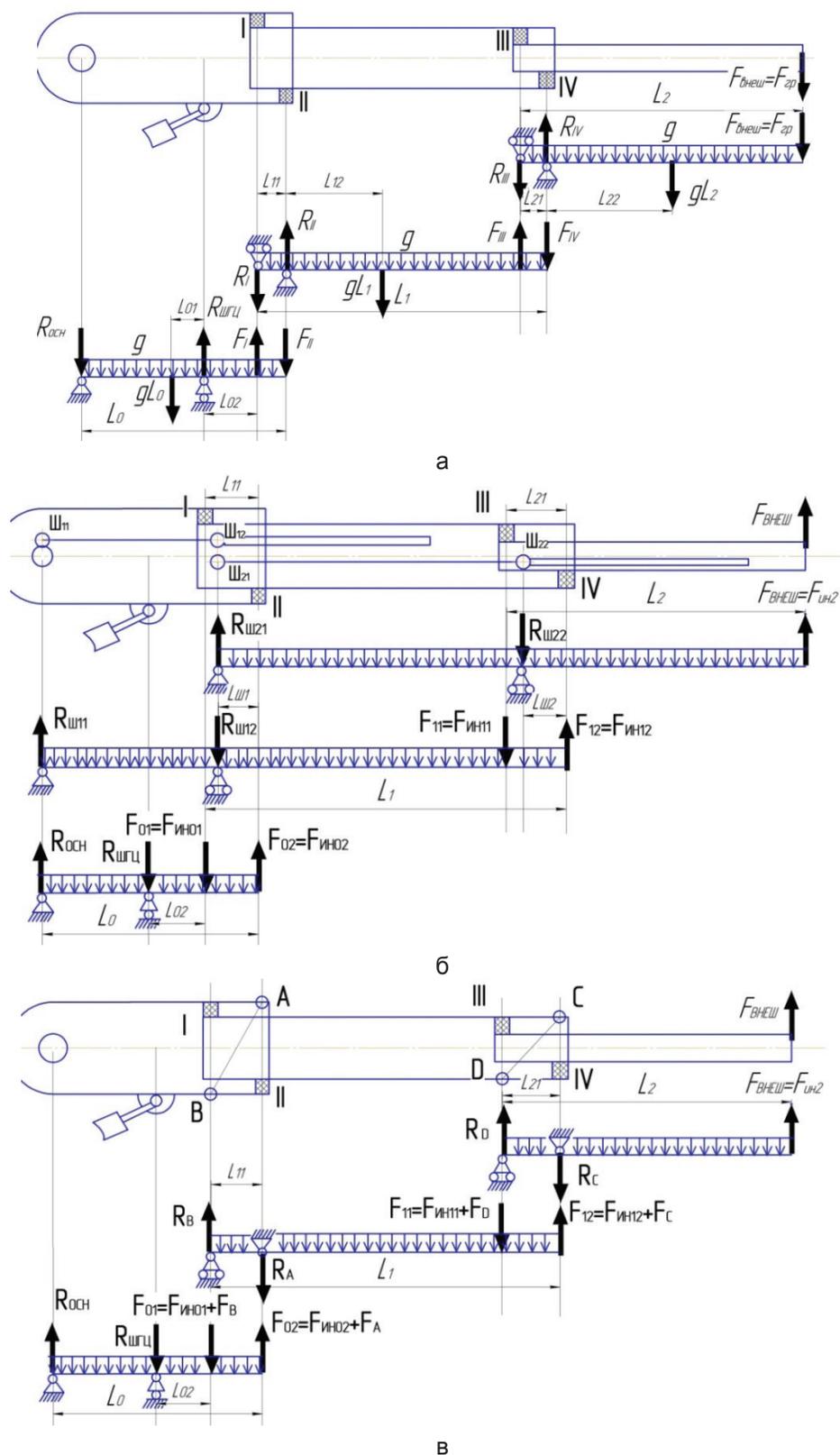


Рисунок 2 – Расчетные схемы нагружения ТС в плоскости подвеса груза:
а – 1-е расчетное положение; б – 2-е расчетное положение; в – 3-е расчетное положение

Figure 2 – Calculation schemes of the CU loading in the freight suspension plane:
а – 1st settlement situation; б – 2nd settlement situation; в – 3rd settlement situation

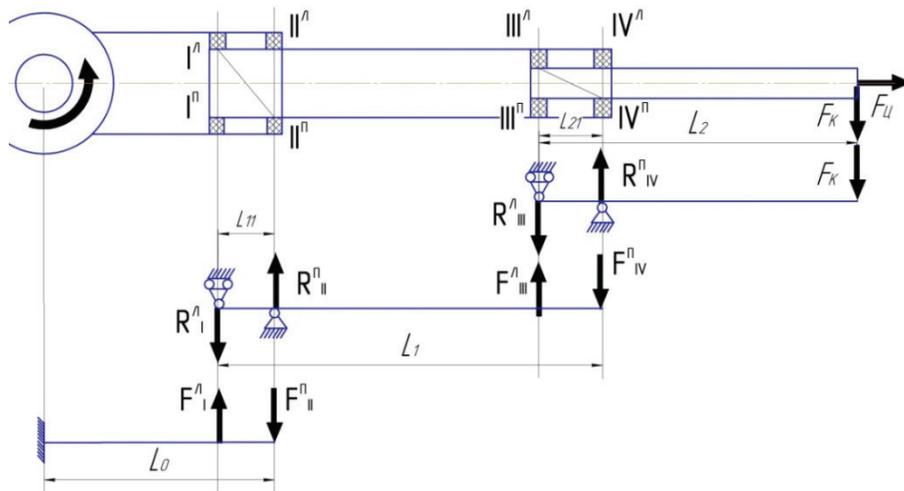


Рисунок 3 – Расчетная схема статического нагружения ТС в горизонтальной плоскости (1-е горизонтальное расчетное положение):
 $I^n - IV^n$ – левые боковые упоры; $I^n - IV^n$ – правые боковые упоры; $R_1^n - R_4^n$ – реакции левых боковых упоров;
 $R_1^n - R_4^n$ – реакции правых боковых упоров

Figure 3 – Calculation scheme of the CU static loading in the horizontal plane (1st horizontal settlement position):
 $IL - IVL$ – left side emphasis; $IP - IVP$ – right side emphasis; $RLI - RLIV$ – reactions of the left side emphasis;
 $RPI - RPIV$ – reactions of the right side emphasis

На первом этапе метода расчета местной устойчивости ТС (см. рисунок 1, блок 5.1) полученные в результате решения дифференциальных уравнений и описывающие вынужденные и свободные колебания динамической модели (при проектировании) или считанные датчиком с оголовка ТС (при эксплуатации

ССК) перемещения разбиваются на три этапа, соответствующие трём расчетным положениям ТС (рисунок 4). Наступление 3-го расчетного положения определяется условием $y \geq y_d$, где y_d – расстояние между секциями, при преодолении которого произойдет ударное взаимодействие между элементами ТС.

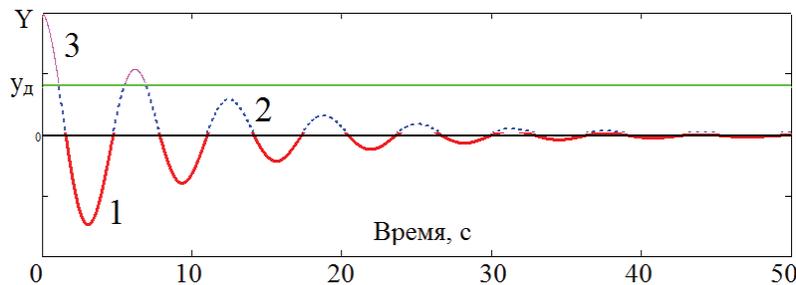


Рисунок 4 – Колебательный процесс в вертикальной плоскости в соответствии с расчетными положениями ТС:
 1 – первое расчетное положение; 2 – второе расчетное положение; 3 – третье расчетное положение

Figure 4 – Oscillatory process in the vertical plane according to CU settlement provisions:
 1 – 1st settlement situation; 2 – 2nd settlement situation; 3 – 3rd settlement situation

Затем находится возмущающая нагрузка в функции перемещений – блок 5.2. Для определения зависимости возмущающей нагрузки от перемещений секций можно выразить возмущающую силу из уравнения прогиба, составленного для каждой секции ТС при использовании метода начальных параметров. Метод начальных параметров является способом расчета угловых и линейных перемещений сечений, испытывающих изгиб прямых балок, при котором искомые величины определяются при помощи универсального уравнения упругой линии и начальных параметров (угол наклона и прогиб в начале координат расчетной схемы), являющихся постоянными интегрирования и определяемых из условий закрепления балки. Выбор данного метода обусловлен относительной простотой способа и возможностью учета любого количества силовых участков². С целью обеспечения точности расчета система должна учитывать влияние пространственного отклонения элементов ТС, обусловленного межсекционными зазорами, остаточной деформацией (изгибом) секций и начальным искривлением секций (например, при расчете в статическом нагружении вычитать от действительного (текущего) прогиба данное отклонение; при динамическом нагружении вводить коэффициент динамичности).

На следующем этапе для каждого расчетного положения определяется максимальное напряжение полки и стенок наиболее нагруженных сечений ТС в функции возмущающей нагрузки (блок 5.3).

Максимальная нагруженность ТС образуется в сечениях давления опорных элементов, где происходит суммирование деформаций от внешних нагрузок и сил, действующих со стороны опорных элементов (местных нагрузок), а также проявляется стеснение деформацией. При этом напряжения, вызванные давлением опорных элементов, могут в несколько раз превышать напряжения от внешних нагрузок¹⁰. Максимальные напряжения образуются в полке, в местах под опорными элементами, и в зонах, расположенных в сечении опорных элементов, в непосредственной близости к кромке соединения стойки и пояса¹¹. При этом наибольшие контактные давления образуются только на узких краях опорных элементов, а не распределяются равномерно по всей поверхности опорных элементов [6].

Эквивалентные напряжения в любой точке полки и стенки (наиболее важны в краевой области приложения опорных усилий (зоны пояса) и в областях, расположенных в сечении опорных элементов и прилегающих к ребру соединения стенки с полкой) от действия усилий опорных элементов и внешних вертикальных нагрузок:

$$\sigma_{\Sigma i} = \sqrt{(\sigma^{BH}_X + \sigma_{XM})^2 + \sigma_{YM}^2 - (\sigma^{BH}_X + \sigma_{XM}) \cdot \sigma_{YM} + 3 \cdot (\tau_K + \tau_M + \tau_{cq})}, \quad (2)$$

где σ^{BH}_X – продольные нормальные напряжения от внешней нагрузки с учетом мембранных напряжений (σ_{MEM}); σ_{XM} – продольные напряжения от местных нагрузок; σ_{YM} – поперечные напряжения от местных нагрузок; τ_M – касательные напряжения от местных нагрузок; τ_K, τ_{cq} – касательные напряжения соответственно от кручения и поперечной силы, вызванные внешними нагрузками¹² [10].

Принимаем

$$\sigma^{BH}_X = \sigma^{BH} + \sigma_{MEM}; \quad \sigma^{BH} = \frac{M_i}{W_i}; \quad \sigma_{YM} = \pm \frac{6M_{YM}}{\delta_{П(С)}^2}; \quad \sigma_{XM} = \pm \frac{6M_{XM}}{\delta_{П(С)}^2}; \quad \tau_{cq} = \frac{Q_i \cdot S_{xi}}{J_{xi} \cdot b_{yi}}; \quad \tau_K = \frac{M_{кр}}{W_i}; \quad \tau_M = \frac{6M_{кр}}{\delta_{П(С)}^2}, \quad (3)$$

где M_i – изгибающие моменты от внешних нагрузок; $M_{кр}$ – крутящий момент; $M_{им}$ – изгибающие моменты от местных нагрузок относительно полки (стенки); $\delta_{П(С)}$ – толщина полки (стенки); W_i – осевой момент сопротивления площади поперечного сечения; Q_i – поперечные силы от внешних нагрузок; J_{xi} – осевой момент инерции сечения; b_{yi} – ширина сечения в рассматриваемом слое материала; S_{xi} – статический момент относительно нейтральной линии, той части сечения, расположенной между уровнем рассматриваемой точки и краем сечения (рисунок 5, а).

¹⁰ Ряхин В.А., Мошкарёв Г.И. Долговечность и устойчивость сварных конструкций строительных и дорожных машин. 232 с.

¹¹ Там же.

¹² Там же.

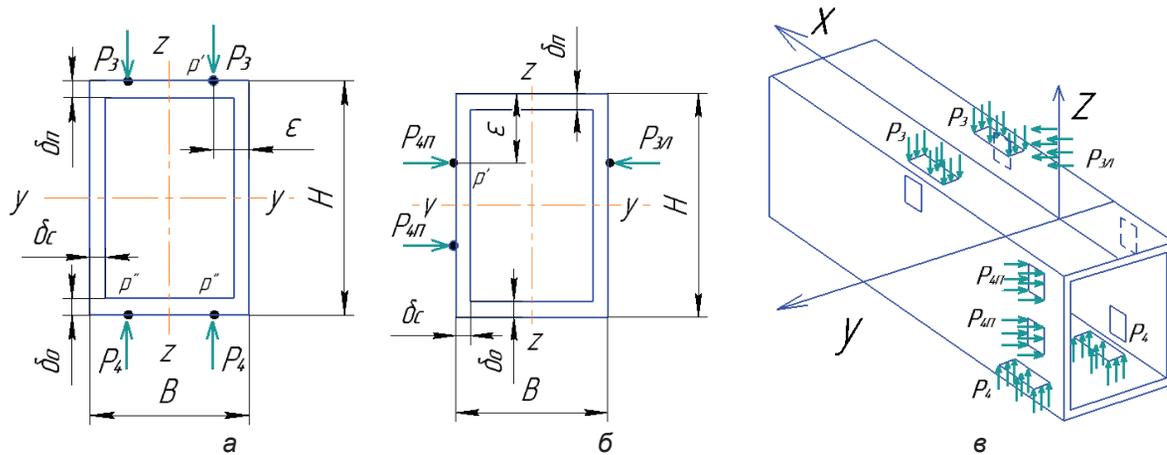


Рисунок 5 – Схема приложения местных нагрузок от опорных элементов и боковых упоров на верхнюю секцию при 1-м положении:
а – от вертикальных нагрузок; б – от горизонтальных нагрузок;
в – пространственное представление давления нагрузок; P_3 – нагрузки в сечении III; P_4 – нагрузки в сечении IV

Figure 5 – Application scheme of local loadings from basic elements and side emphasis on the top section at the 1st situation:
a – from vertical loadings; b – from horizontal loadings; c – spatial representation of the loadings' pressure;
 P_3 – loadings in the III section; P_4 – loadings in the IV section

Изгибающие моменты и поперечные силы от внешних нагрузок определяются согласно известным методам сопротивления материалов (рисунок 6).

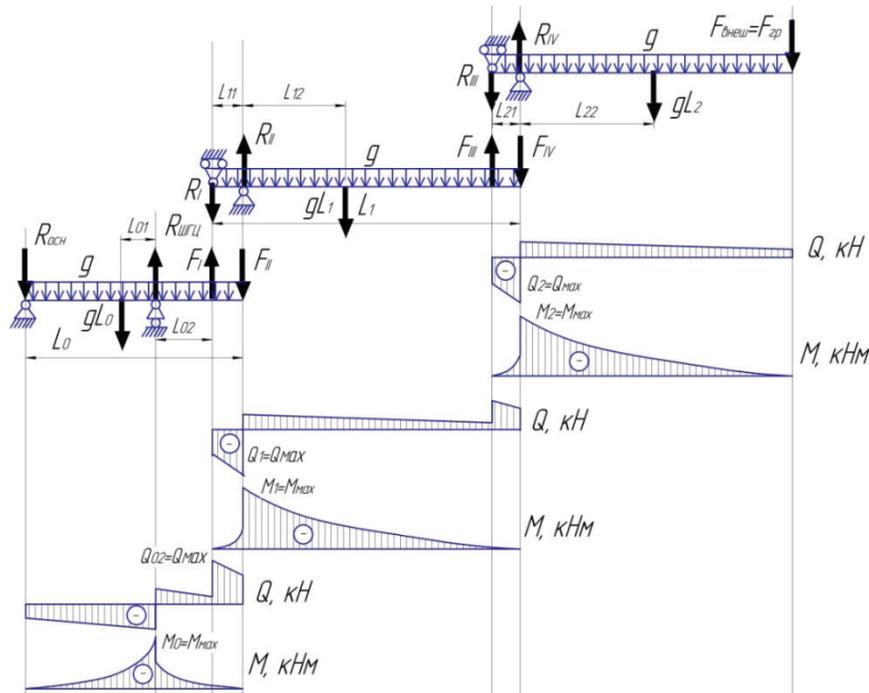


Рисунок 6 – Эпюры изгибающих моментов и поперечной силы при 1-м вертикальном расчетном положении

Figure 6 – Diagram of the bending moments and cross force at the 1st vertical settlement position

В связи со схожестью конструктивного исполнения и взаимодействия элементов ТС в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также прочностного анализа конструкции в модуле проведения расчетов методом конечных элементов Solid Edge Simulation (рисунок 7,б) можно сделать вывод, что максимальная нагруженность ТС, вызванная горизонтальными силами, образуется в

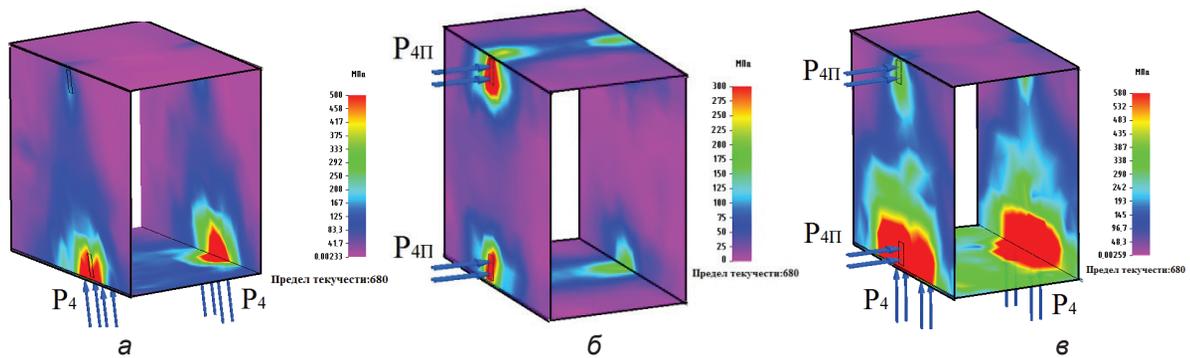


Рисунок 7 – Нагруженность элемента ТС в результате действия местных сил: а – вертикальные силы; б – горизонтальные силы; в – совместное действие вертикальных и горизонтальных сил

Figure 7 – Loading of the CU element in the result of local forces action: a – vertical forces; b – horizontal forces; c – joint action of vertical and horizontal forces

сечениях давления боковых упоров, где происходит суммирование деформаций от горизонтальных внешних нагрузок и местных сил, действующих со стороны боковых упоров; при этом максимальные напряжения образуются в стенке, в местах под боковыми упорами, и в областях, расположенных в сечении боковых упоров, в непосредственной близости к кромке соединения стойки и пояса.

Эквивалентные напряжения в любой точке полки и стенки [наиболее важно: в области приложения опорных усилий (зоны стойки) и в зонах, расположенных в сечении опорных элементов и прилегающих к ребру соединения стенки с полкой] от действия усилий боковых упоров и внешних горизонтальных нагрузок предлагается определять по формуле (2), но при замене вертикальных нагрузок на горизонтальные.

В связи с тем что при повороте крановой платформы на ТС одновременно действуют внешние нагрузки в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также усилия опорных элементов и усилия боковых упоров, существует необходимость определения совместного влияния на нагруженность секций внешних и местных вертикальных и горизонтальных нагрузок.

В результате ряда расчетов методом конечных элементов напряженного состояния ТС (см. рисунок 7) была установлена следующая зависимость для определения максимальных суммарных эквивалентных напряжений полок и стенок ТС (имеющей прямоугольный (коробчатый) профиль) от совместного действия внешних горизонтальных и вертикальных на-

грузок, а также местных нагрузок от опорных элементов и боковых упоров:

$$\sigma^j_{\max} \approx \sqrt{[\sigma^j_{\max, \text{гор}}]^2 + [\sigma^j_{\max, \text{верт}}]^2}, \quad (4)$$

где $\sigma^j_{\text{гор}}$ – напряжения, обусловленные горизонтальными внешними и местными усилиями; $\sigma^j_{\text{верт}}$ – напряжения, обусловленные вертикальными внешними и местными усилиями; σ^j_{\max} – максимальные напряжения в области: $\sigma^{\text{ОЭ}}_{\max}$ – действия опорных элементов (полка), $\sigma^{\text{БУ}}_{\max}$ – действия боковых упоров (стенка), $\sigma^{\text{Р}}_{\max}$ – ребра соединения полки со стенкой, расположенного между действием усилий опорных элементов и боковых упоров.

Потеря местной устойчивости стенок и полок происходит вследствие развития пластических деформаций, образующихся при достижении напряжений предела текучести, и в результате потери устойчивого равновесия участков на стадии упругой деформации [7]. В связи с этим с целью проверки полок и стенок на развитие пластических деформаций высчитанные максимальные напряжения полок и стенок ТС сравниваются с пределом текучести (см. рисунок 1, блок 5.4).

Далее осуществляется проверка полок и стенок на местную устойчивость на стадии упругой деформации (см. рисунок 1, блок 5.4.1). Для определения устойчивости полок и стенок ТС используется известная методика^{13, 14}, применяемая относительно напряжений ребра соединения полки и стенки, области действий опорных элементов и боковых упоров:

¹³ Там же.

¹⁴ Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. 520 с.

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma^{BH}}{\sigma_{кр}} + \frac{\sigma_M}{\sigma_{кр,М}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{max}}{\tau_{кр}}\right)^2} = \Omega^j \leq \gamma, \quad (5)$$

где σ^{BH} – максимальные нормальные напряжения от изгиба и сжатия от действия внешних нагрузок ($\sigma^{BH} = \sqrt{\sigma_{BH-гор}^2 + \sigma_{BH-верт}^2}$); σ_M – напряжения от местных усилий, $\sigma_M = \sqrt{\sigma_{M-гор}^2 + \sigma_{M-верт}^2}$; τ_{max} – максимальные касательные напряжения, $\tau_{max} = \sqrt{\tau_{гор}^2 + \tau_{верт}^2}$; $\sigma_{кр}$ – критические нормальные напряжения изгиба и сжатия от действия внешней нагрузки; $\sigma_{кр,М}$ – критические напряжения от местных нагрузок; $\tau_{кр}$ – критические касательные напряжения; γ – коэффициент, учитывающий условия работы; Ω^j – коэффициент местной устойчивости относительно Р, ОЭ, БУ.

В связи с тем, что напряжения наиболее нагруженных узлов ТС определяются в зависимости от возмущающей нагрузки (горизонтальной и вертикальной), возмущающая нагрузка – от перемещений, а перемещения – от времени, получаем максимальные напряжения ТС в функции времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований была разработана методика контроля общей и местной устойчивости ТС, использование которой обеспечивает повышение степени безопасной эксплуатации стреловых грузоподъемных кранов.

Применение предлагаемого метода расчета на общую устойчивость ТС позволяет при проектировании автоматизировано определять грузовысотные характеристики и соответствующие параметры рабочего оборудования, обеспечивающие устойчивое состояние системы. Также включение разработанной методики расчета на общую устойчивость ТС в систему безопасности ССК позволяет в режиме реального времени при выполнении краном рабочих операций отслеживать общее устойчивое состояние механической системы в функции характеристик ТС.

Использование предлагаемого метода расчета на местную устойчивость позволяет при проектировании и эксплуатации отслеживать в режиме реального времени максимальное

напряженное состояние ТС, являющееся критерием местной устойчивости, что предоставляет возможность контролировать устойчивое состояние полок и стенок наиболее нагруженных элементов ТС. Предлагаемая методика расчета напряженного состояния учитывает совместное действие внешних горизонтальных и вертикальных нагрузок, а также местных нагрузок от опорных элементов и боковых упоров. Данное нагружение, несмотря на наличие ряда работ^{15, 16} [6, 7, 8, 9, 10], посвященных исследованию местных и внешних вертикальных нагрузок ТС, было рассмотрено впервые. Применение расчета на местную устойчивость предоставляет возможность при резком возрастании напряжения (коэффициента местной устойчивости) заблаговременно предпринять меры по устранению аварии или снижению последствий аварийной ситуации без участия оператора: например, включение автоматической блокировки всех исполнительных устройств, формирование предупредительных сигналов и активизирование средств, действие которых направлено на предотвращение превышения максимальных напряжений ТС и коэффициента местной устойчивости их допустимого значения. Кроме того, отслеживание наибольшего напряженного состояния позволит оценивать текущее техническое состояние телескопического стрелового оборудования, в результате чего представляется возможным своевременное проведение ремонта ТС, замена всего оборудования или его элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Томаков В.И., Томаков М.В. Состояние промышленной безопасности при эксплуатации грузоподъемных кранов на объектах, подконтрольных Ростехнадзору // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия «Техника и технологии». 2017. № 1 (22). С. 27–41.
2. Лагерева А.В., Кончиц С.В., Блейшмидт Л.И. Оценка риска при эксплуатации самоходных грузоподъемных кранов стрелового типа в условиях недостаточной информации // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. № 2. С. 77–94.
3. Wu J., Guzzomi A., Hodkiwicz M. Static stability analysis of non-slewing articulated mobile cranes // Australian Journal of Mechanical Engineering, 2014, №12(1), pp. 66–76.

¹⁵ Ряхин В.А., Мошкарёв Г.И. Долговечность и устойчивость сварных конструкций строительных и дорожных машин. 232 с.

¹⁶ Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. 520 с.

4. Qian Jb., Bao Lp., Yuan Rb., Yang Xj. Modeling and Analysis of Outrigger Reaction Forces of Hydraulic Mobile Crane // *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 2017, Vol. 30, № 8, pp. 1246–1252.

5. Мамаев К.М. Математическое моделирование нагрузок автокрана и возможность расширения его характеристик грузоподъемности // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2011. № 4(23). С. 76–80.

6. Cui Z., Jlang W., Cheng L. Analysis and Experimental Verification of the Strength of Telescopic Booms for Construction Machinery. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 2016. pp. 33.1–33.10.

7. Ряхин В.А., Гривезирский Ю.В., Гольдин Ю.М. Анализ местной нагруженности крановых телескопических стрел методом конечных элементов // *Строит. и дорож. машины*. 1984. №4. С. 22–24.

8. Savkovic M., Gasic M., Pavlovic G. Stress analysis in contact zone between the segments of telescopic booms of hydraulic truck cranes. *Thin-Walled Structure*, 2014, vol. 85, pp. 332–340.

9. Fujita H., Sugiyama H. Development of flexible telescopic boom model using absolute nodal coordinate formulation sliding joint constraints with LuGre friction. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 2012, vol. 2, Issue 6. 063005.

10. Pavlovic A., Fragassa C., Minak G. Buckling analysis of telescopic boom: theoretical and numerical verification of sliding pads. *Tehnicki Vjesnik*, 2017, № 24(3), pp. 729–735.

REFERENCES

1. Tomakov V.I., Tomakov M.V. Sostoyanie promyshlennoj bezopasnosti pri ehkspluatácii gruzopod’jomnyh kranov na ob’ektah, podkontrol’nyh Rostekhnadzoru [State of industrial safety in the operation of cranes at sites controlled by Rostekhnadzor]. *Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2017; 1 (22): 27–41 (in Russian).

2. Lagerev A.V., Konchic S.V., Blejshmidt L.I. Ocenka riska pri ehkspluatácii samohodnyh gruzopod’emnyh kranov strelovogo tipa v usloviyah nedostatochnoj informacii [Risk assessment in the operation of self-propelled boom cranes with insufficient information]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017; 2: 77–94 (in Russian).

3. Wu J., Guzzomi A., Hodkiwicz M. Static stability analysis of non-slewing articulated mobile cranes. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 2014; 12(1): 66–76.

4. Qian Jb., Bao Lp., Yuan Rb., Yang Xj. Modeling and Analysis of Outrigger Reaction Forces of Hydraulic Mobile Crane. *International Journal*

of Engineering, Transactions B: Applications, 2017; 8 (30): 1246–1252.

5. Mamaev K.M. Matematicheskoe modelirovanie nagruzok avtokrana i vozmozhnost’ rasshireniya ego harakteristik gruzopod’emnosti [Mathematical modeling of truck crane loads and the possibility of expanding its load-carrying characteristics]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki*, 2011; 4(23): 76–80 (in Russian).

6. Cui Z., Jlang W., Cheng L. Analysis and Experimental Verification of the Strength of Telescopic Booms for Construction Machinery. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 2016; 33.1–33.10.

7. Ryahin V.A., Grivezirsij YU.V., Gol’din YU.M. Analiz mestnoj nagruzhennosti kranovyh teleskopicheskijh strel metodom konechnykh ehlementov [Analysis of the local loading of crane telescopic arrows by the finite element method]. *Stroit. i dorozh. Mashiny*, 1984; 4: 22–24 (in Russian).

8. Savkovic M., Gasic M., Pavlovic G. Stress analysis in contact zone between the segments of telescopic booms of hydraulic truck cranes. *Thin-Walled Structure*, 2014; 85: 332–340.

9. Fujita H., Sugiyama H. Development of flexible telescopic boom model using absolute nodal coordinate formulation sliding joint constraints with LuGre friction. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 2012; 2(6): 063005.

10. Pavlovic A., Fragassa C., Minak G. Buckling analysis of telescopic boom: theoretical and numerical verification of sliding pads. *Tehnicki Vjesnik*, 2017; 24(3): 729–735.

Поступила 13.03.2019, принята к публикации 12.04.2019.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Потахов Егор Александрович – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины», ФГБОУ ВО ПГУПС, ORCID ID: 0000-0003-4206-9148 (190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, e-mail: epotakhov@mail.ru)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Potahov Egor Aleksandrovich – Postgraduate Student, Department of Lifting, Track and Construction Machines, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, ORCID ID: 0000-0003-4206-9148 (190031, St. Petersburg, 9 Moskovsky Ave., e-mail: epotakhov@mail.ru).

УДК 625.76.08

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВЕСНЫХ ЭКСКАВАТОРНЫХ ВИБРОПЛИТ

И.С. Тюремнов, Д.В. Федорова
ФГБОУ ВО «ЯГТУ»,
г. Ярославль, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время производители навесных экскаваторных виброплит практически не дают рекомендаций по выбору модели и обоснованию режимов работы данного оборудования при уплотнении грунта в конкретных технологических условиях. Это обусловлено отсутствием методики определения результатов уплотнения грунта навесными экскаваторными виброплитами. Одним из этапов разработки данной методики должен быть анализ технических характеристик навесных экскаваторных виброплит, отражающий многолетний опыт производства и эксплуатации данного оборудования.

Материалы и методы. Статистическая обработка проводилась в программе «STATISTICA v.10» по данным технических характеристик 65 моделей навесных экскаваторных виброплит отечественных и зарубежных производителей.

Выводы. Установлено, что режимы работы навесных экскаваторных виброплит занимают промежуточное положение между режимами работы вибрационных катков и самоходных виброплит. Относительные вынуждающие усилия находятся в диапазоне, более близком к диапазону работы самоходных виброплит, а частоты колебаний находятся в диапазоне, более близком к диапазону работы вибрационных катков. Низкие значения коэффициента детерминации для значений частоты колебаний и относительного вынуждающего усилия в зависимости от массы оборудования также свидетельствуют об отсутствии у производителей единого мнения о требуемых характеристиках навесных экскаваторных виброплит и оценке их технологических возможностей.

В силу выявленного существенного превышения вынуждающего усилия навесных экскаваторных виброплит над их весом в процессе колебаний должен происходить периодический отрыв основания плиты от грунта, что должно учитываться при разработке математической модели взаимодействия навесных экскаваторных виброплит с грунтом.

Практическое значение. Результаты анализа позволили выявить особенности взаимодействия навесной экскаваторной виброплиты с уплотняемым грунтом и уточнить требования к будущей математической модели. Полученные регрессионные зависимости вынуждающего усилия и частоты колебаний, а также размеров основания навесных экскаваторных виброплит, массы экскаватора и требуемого расхода масла должны учитываться при разработке методики определения результатов уплотнения грунта навесными экскаваторными виброплитами в конкретных технологических условиях. Также полученные результаты могут быть использованы производителями при проектировании и модернизации конструкций навесных экскаваторных виброплит.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грунт, уплотнение, вибрация, плита вибрационная, виброплита, виброплита экскаваторная навесная, анализ статистический, коэффициент детерминации, усилие вынуждающее, масса эксплуатационная, частота колебаний, размер основания, масса экскаватора.

© И.С. Тюремнов, Д.В. Федорова



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

STATISTICAL PROCESSING OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF VIBRATING PLATE COMPACTORS

I.S. Tyuremnov, D.V. Fedorova
Yaroslavl State Technical University,
Yaroslavl, Russia

ABSTRACT

Introduction. Currently, manufacturers of vibrating plate compactors practically do not give recommendations on the choice of model and justification of the equipment operating modes when compacting the soil in specific process conditions. This is partially due to the lack of a methodology for determining the results of soil compaction with vibrating plate compactors. One of the development stages of such technique should be the analysis of the technical characteristics of vibrating plate compactors, which could reflect experience in the production and operation of the equipment.

Materials and methods. The authors conduct statistical processing of technical characteristics of vibrating plate compactors in STATISTICA 10 based on 65 models of various manufacturers from Russia and other countries.

Discussion and conclusions. The authors demonstrate that the operating modes of vibrating plate compactors are between the operating modes of vibrating rollers and self-propelled vibrating plate compactors. To note, relative driving forces are in a similar range as the working range of self-propelled vibrating plate compactors, and their vibration frequencies are in a similar range as the working range of vibrating rollers. Moreover, low values of the determination coefficient for oscillation frequency and relative forcing force depending on the mass of the equipment also indicate the lack of consensus among manufacturers about the required characteristics of vibrating plate compactors and an assessment of their technological capabilities.

Due to a significant excess of driving force of vibrating plate compactors over their weight, the base of the plate should come into partial uplift from soil, and that should be taken into account while the mathematical model of interaction development between vibrating plate compactors and soil.

Practical implications. The results of the analysis reveal the peculiarities of the vibrating plate compactors' interaction with the compacted soil and also clarify the requirements for the future mathematical model. The resulting regression dependencies of driving force and oscillation frequency, as well as the base dimensions of the vibrating plate compactors, the weight of the excavator and the required oil consumption should be taken into account when developing a methodology for determining the results of soil compaction with mounted technological excavator plates. Therefore, the obtained results could also be used by manufacturers in the design and modernization of the vibrating plate compactors' structures.

KEYWORDS: soil, compaction, vibration, vibrating plate, vibrating plate compactor, statistical analysis, determination coefficient, driving force, operating weight, vibration frequency, base size, excavator weight.

© I.S. Tyuremnov, D.V. Fedorova



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

При уплотнении грунтов обратных засыпок в траншеях, пазухах фундаментов, вокруг колодцев, над трубопроводами и в других «узких местах» используются навесные экскаваторные виброплиты (НВП), крепящиеся на стрелу экскаватора, что позволяет использовать их для уплотнения грунтов как на горизонтальных, так и на наклонных поверхностях (откосах выемок и насыпей). Данное оборудование имеет гидравлический привод от гидросистемы экскаватора и реализует круговые колебания с одним или двумя значениями вынуждающей силы. Для демпфирования динамических воздействий на стрелу экскаватора между вибровозбудителем (жестко связанным с основанием НВП) и адаптером для крепления НВП к стреле экскаватора установлены резиновые амортизаторы.

Обзор рекомендаций по оценке технологических возможностей навесных экскаваторных виброплит показал недостаток информации о возможностях НВП, а также отсутствие критериев выбора навесных экскаваторных виброплит для выполнения работ в различных технологических условиях. Производители ориентируются на базовую машину (НВП подбирается под массу экскаватора), а не на заданный объект работ. Отсутствие рекомендаций по обоснованию выбора модели НВП для обеспечения требуемого коэффициента уплотнения на заданной глубине грунта приводит к необходимости разработки методики расчета результатов уплотнения грунта при работе в конкретных технологических условиях. Одним из этапов разработки данной методики является анализ взаимосвязей между различными характеристиками НВП, реализованных производителями в конструкциях НВП на основании многолетнего опыта производства и эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Статистическая обработка проводилась в программе «STATISTICA v.10» по техническим характеристикам 65 моделей НВП различных отечественных и зарубежных производителей: Традиция-К¹, Ammann², Atlas Copco³, Exten⁴, Gentec equipment⁵, Ghedini⁶, Impulse⁷, Indeco⁸, LST, MTS и Simex⁹. Вид уравнений регрессии выбирался по соображениям простоты и максимизации значения коэффициента детерминации (инструмент «User-Specified Regression»). Использовался метод оценивания «Quasi-Newton». В качестве функции остатков применялась функция минимизации квадратов разницы между наблюдаемыми и расчетными значениями. Для моделей НВП с несколькими значениями вынуждающего усилия для анализа использовалось максимальное его значение. Результаты обработки приведены на рисунках и в таблице.

Масса НВП является основной технической характеристикой виброплиты, во многом определяющей ее функциональные возможности. Таким образом, будет целесообразным выявить зависимости основных технических характеристик виброплит в функции их массы.

В полученных зависимостях приняты следующие обозначения: P – вынуждающее (центробежное) усилие, кН; B – ширина основания НВП, м; L – длина основания НВП, мм; F – частота колебаний, Гц; M – эксплуатационная масса НВП, кг; Msr – усредненная масса экскаватора, т; Q – расход масла, л/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ результатов статистической обработки характеристик виброплит показывает, что наибольшие значения коэффициента детерминации R^2 имеют зависимости вынуждающего усилия, длины и ширины основания НВП, а также усредненной массы экскаватора

¹ Ammann [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ammann-group.com>.

² AtlasCopco [Электронный ресурс]. URL: <http://atlas-co.ru/catalog/uplotniteli-kompakatory.html>.

³ Exten [Электронный ресурс]. URL: <https://extenfactory.com/vibrotrambovka-exten-tamp-300>.

⁴ Gentec equipment [Электронный ресурс]. URL: <https://gentecequipment.com/3-hydraulic-plate-compactors>.

⁵ Ghedini [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ghedini.com/ru>.

⁶ Технопарк «Impulse» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.impulse.su/catalog/vibrotrambovki-na-eksavatory>.

⁷ Indeco [Электронный ресурс]. URL: <https://indecobreakers.com/compactors>.

⁸ Simex [Электронный ресурс]. URL: <https://www.simex.it/it-it/prodotti/categorie/piastre-vibranti-pv>.

⁹ Там же.

Таблица
Результаты статистической обработки технических характеристик НВП

Table
Statistical processing results of technical characteristics of the vibrating plate compactors VPC

Функция	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации R ²
$P = f(M)$	$P = 16,326 + 0,0110 * M^{1,281}$	0,699
$F = f(M)$	$F = 46,512 - 0,008 * M$	0,136
$Q = f(M)$	$Q = 26,948 + 0,139 * M$	0,745
$Msr = f(M)$	$Msr = 1,556 + 0,020 * M$	0,583
$L = f(M)$	$L = 582,929 + 1,311 * M^{0,895}$	0,706
$B = f(M)$	$B = -149,727 + 69,764 * M^{0,378}$	0,842
$P/Q = f(M)$	$P/Q = -391,644 + 411,106 * M^{0,004}$	0,0732

и требуемого расхода масла НВП от эксплуатационной массы виброплиты.

Анализ значений вынуждающего усилия НВП в зависимости от их массы (рисунок 1) показывает, что вынуждающее усилие P вибровозбудителя НВП примерно в 10 раз превышает её вес Q .

Это свидетельствует о том, что в процессе работы основание виброплиты периодически должно терять контакт с грунтом, а затем снова его восстанавливать, причем длительность

периода потери контакта с грунтом, скорость НВП в момент восстановления контакта и количество оборотов, совершаемых валом вибровозбудителя в процессе потери контакта (кратность колебаний) будут зависеть от массы верхней и нижней частей НВП, количества и характеристик связывающих их амортизаторов, частоты и вынуждающего усилия вибровозбудителя, прижимного усилия стрелы экскаватора и свойств грунта.

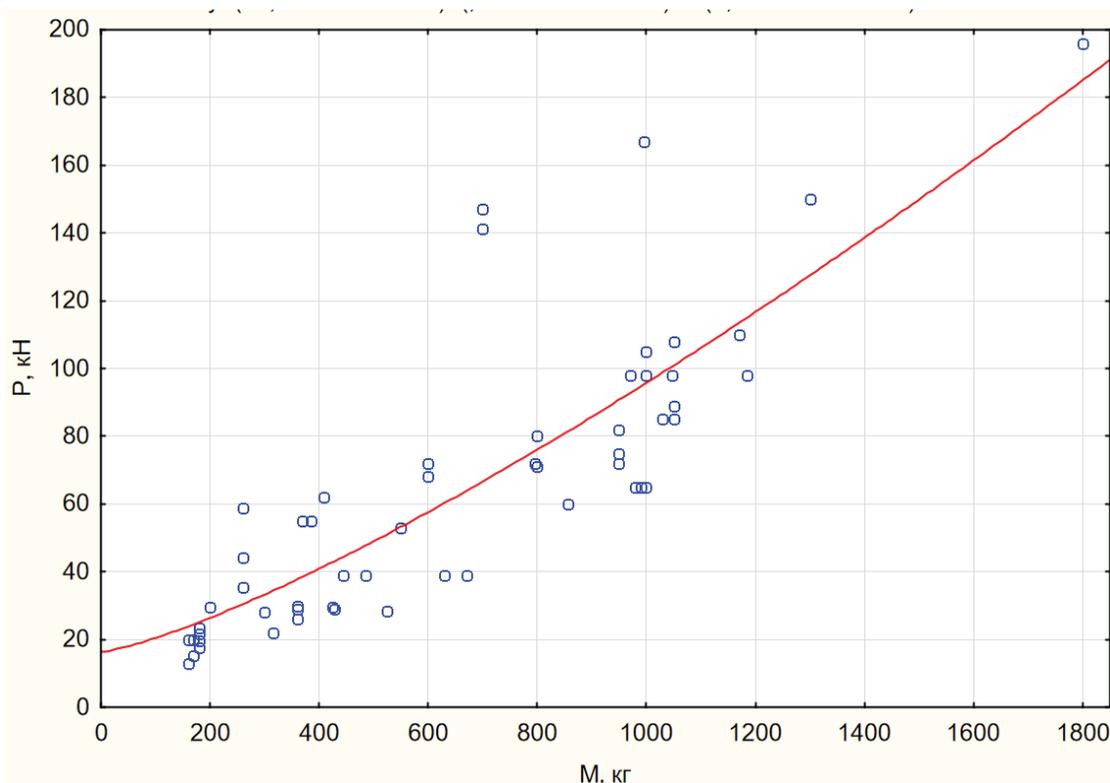


Рисунок 1 – Результаты обработки значений вынуждающего усилия для различных масс НВП

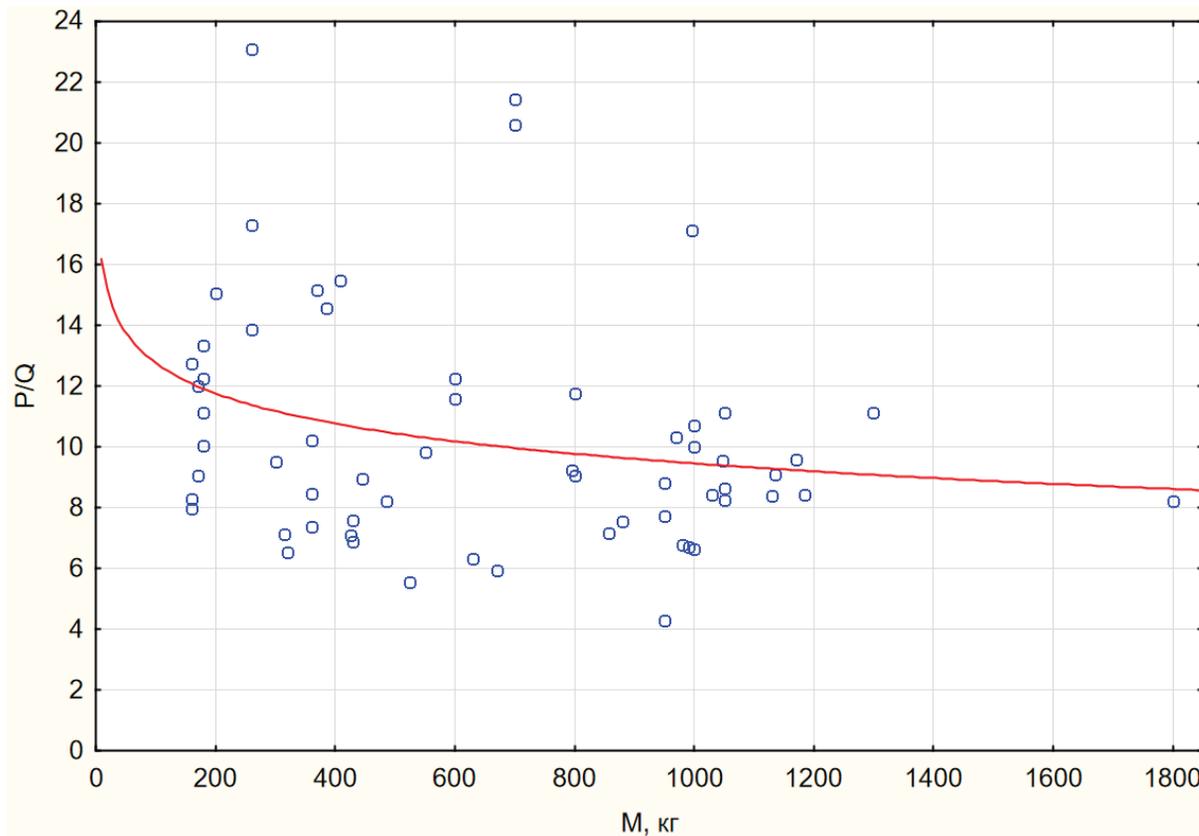
Figure 1 – Processing results of forcing force for different VPC masses

Если рассматривать не абсолютное, а относительное вынуждающее усилие, рассчитываемое как отношение вынуждающего усилия к весу НВП, то диапазон значений относительного вынуждающего усилия для НВП составляет в основном $P/Q = 6...18$ (рисунок 2) ($P/Q = 4...23$ по граничным точкам диапазона), что в среднем несколько меньше значений относительного вынуждающего усилия для самоходных виброплит $P/Q = 10...20$ [1] ($P/Q = 10...22$ по данным [2] и $P/Q = 16...24$ по данным [3]), но больше соответствующих значений для вибрационных катков $P/Q = 2...5,5$ [4].

Таким образом, режим работы НВП ближе к режиму работы самоходных виброплит, чем к вибрационным каткам. В то же время возможность дополнительного пригруза НВП стрелой экскаватора создает условия, препятствующие отрыву основания НВП от грунта. Это соз-

дает предпосылки для возможности применения известной [5, 6] классификации режимов работы вибрационных катков [постоянный контакт (continuous contact), частичный отрыв (partial uplift), двойной прыжок (double jump) и др.] и для НВП. Однако условия перехода НВП в различные режимы колебаний требуют дополнительных исследований. Вышеуказанные соображения позволяют сделать вывод о необходимости учета возможности работы НВП в отрывных режимах при разработке математической модели взаимодействия НВП с уплотняемым грунтом, в то время как многие исследователи рассматривают безотрывный режим¹⁰ [7, 8, 9, 10, 11].

Анализ частоты колебаний виброплит в зависимости от их массы (рисунок 3) характеризуется очень низким значением коэффициента детерминации $R^2 = 0,136$ (таблица).



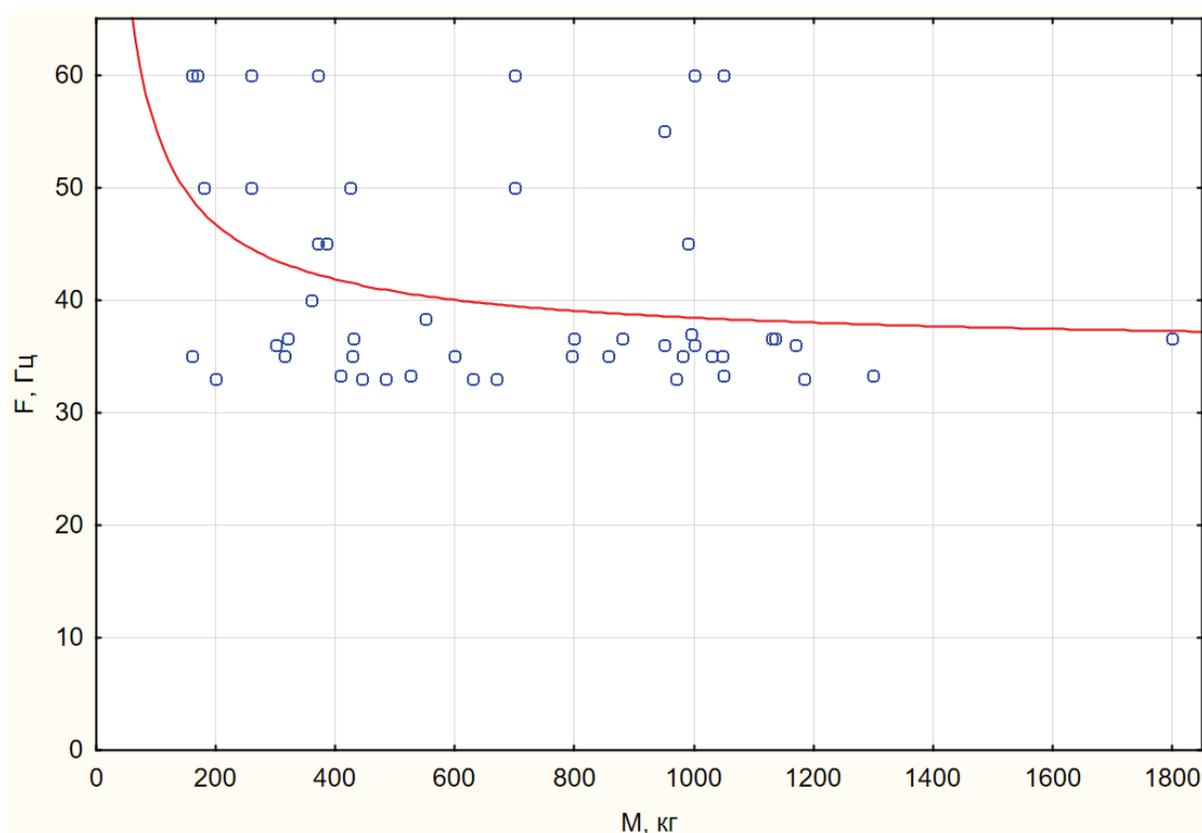


Рисунок 3 – Результаты обработки значений частоты колебаний НВП для различных масс НВП

Figure 3 – Processing results of the oscillation VPC frequency for different VPC masses

Частота колебаний, как и относительное вынуждающее усилие, является одним из главных технических характеристик НВП. Однако отсутствие как у отечественных, так и у зарубежных производителей методики оценки влияния технических характеристик НВП на результаты уплотнения грунта в конкретных технологических условиях не позволяет обосновать рациональные значения этих параметров, что отражается в низком значении коэффициента детерминации этих параметров от массы НВП. В то же время наблюдается некоторое предпочтение производителей НВП диапазону частот 30...40 Гц. При этом диапазон частот колебаний НВП находится несколько ниже диапазона частот колебаний самоходных виброплит (50...100 Гц) [1], но несколько выше диапазона частот колебаний вибрационных катков (25...40 Гц) [2]. Данные результаты также подтверждают позиционирование НВП по режимам работы между самоходными

виброплитами и вибрационными катками, что позволяет использовать для разработки математической модели уплотнения грунта при помощи НВП подходы, применяемые как для вибрационных катков [12], так и для самоходных виброплит [13].

Анализ длины основания НВП в зависимости от их массы (рисунок 4) осложняется тем, что производители не всегда указывают, что понимается под длиной основания – длина контактной поверхности основания или длина основания с открылками. В большинстве случаев под длиной основания НВП понимается длина основания с открылками. В целом зависимость длины основания НВП от массы характеризуется не очень высоким коэффициентом детерминации ($R^2=0,706$). Возможно, производители не пришли к единому мнению относительно обоснования длины основания НВП или считают этот параметр несущественным.

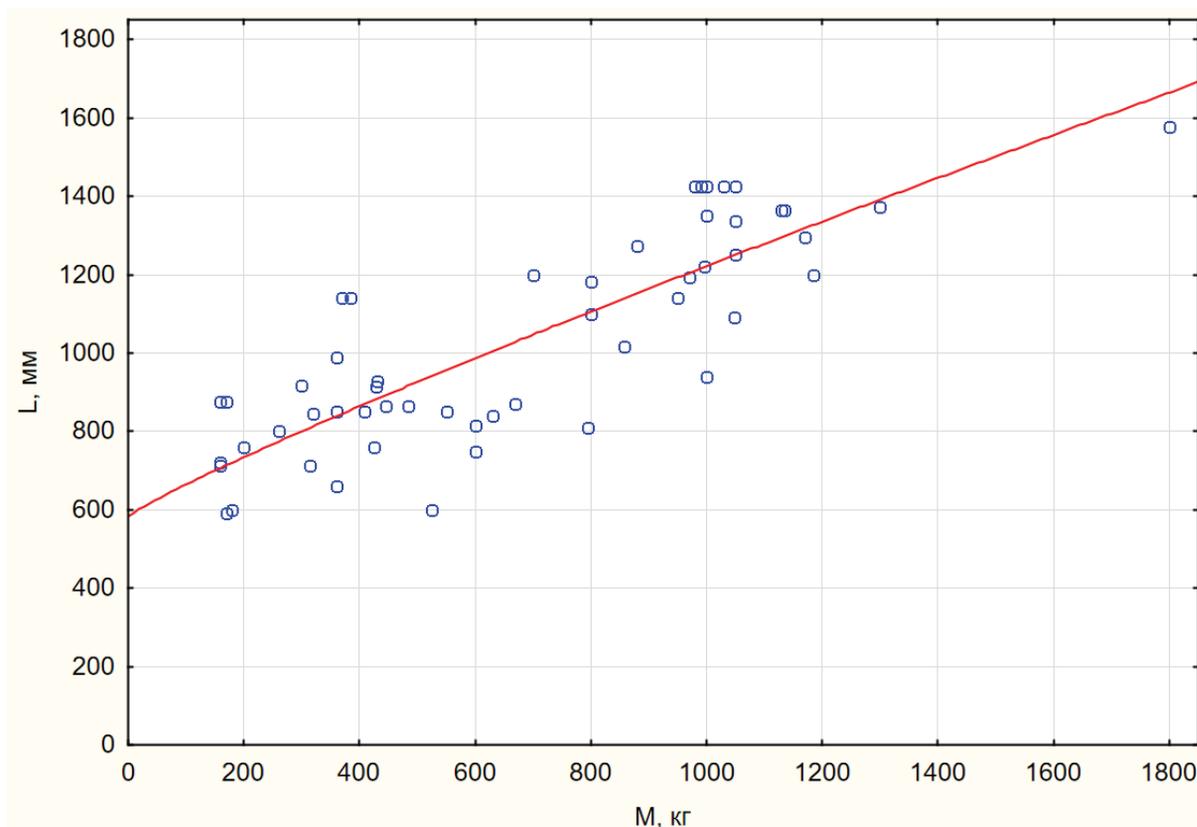


Рисунок 4 – Результаты обработки значений длины основания НВП для различных масс НВП

Figure 4 – Processing results of the base VPC length for different VPC masses

Несколько более тесная корреляция ($R^2 = 0,842$) наблюдается у зависимости ширины основания НВП от массы (рисунок 5), хотя разброс значений ширины при фиксированной массе НВП остается достаточно существенным. Ширина основания НВП является более значимым параметром по сравнению с длиной, поскольку влияет на глубину активной зоны при уплотнении¹¹.

При анализе зависимости массы экскаватора от массы НВП (рисунок 6) используется усредненное значение массы экскаватора, т.к. производителями указывается диапазон возможных масс экскаватора. При этом диапазон изменения массы относительно среднего значения может быть весьма существенным (отношение максимально возможной массы экскаватора к минимально возможной может достигать 4...5).

¹¹ Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. М., 1975. 288 с.

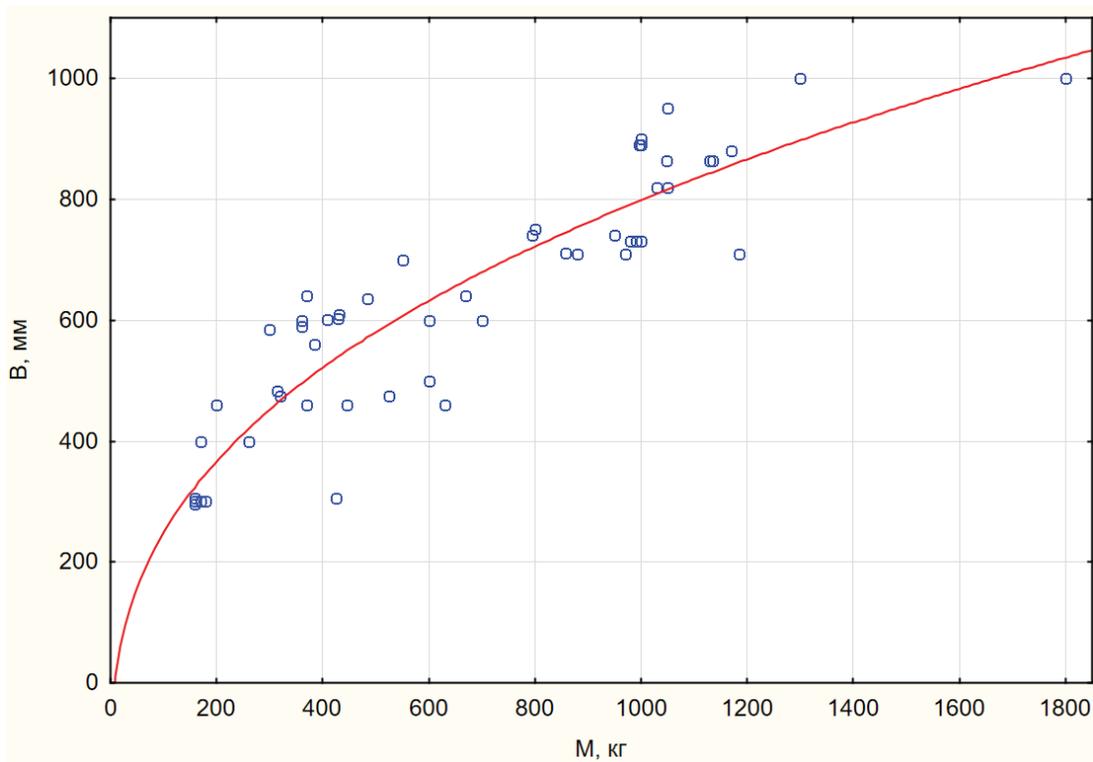


Рисунок 5 – Результаты обработки значений ширины основания НВП для различных масс НВП

Figure 5 – Processing results of the base VPC width for different VPC masses

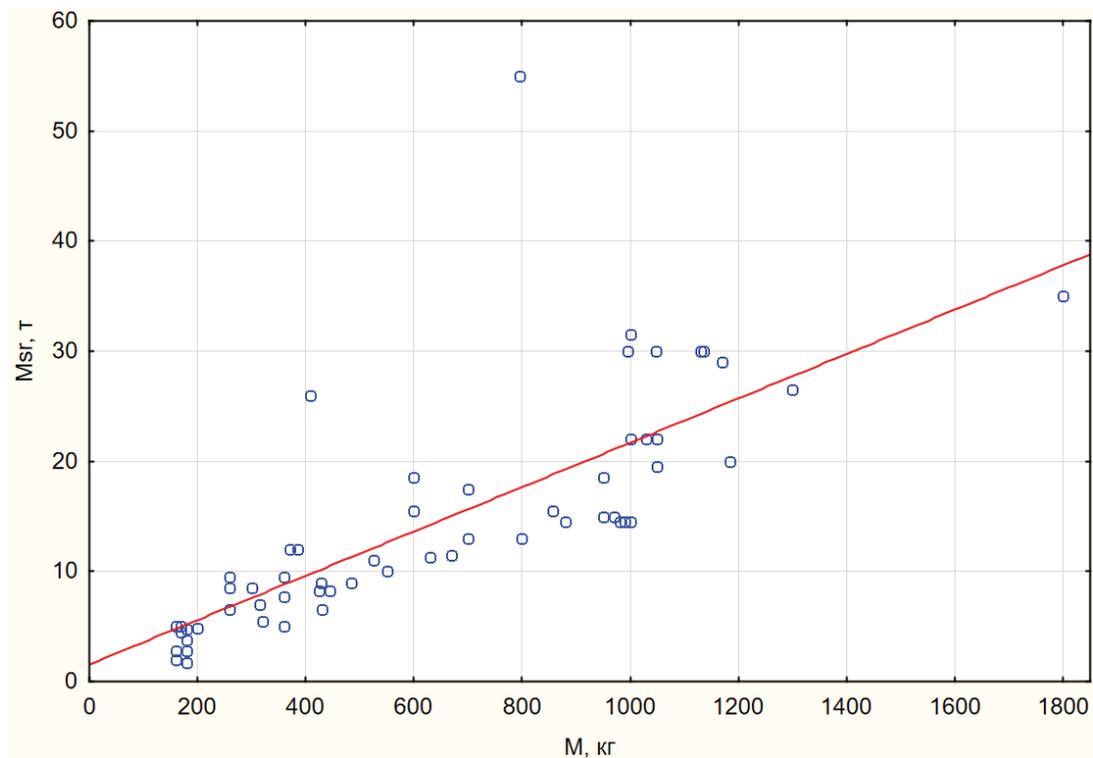


Рисунок 6 – Результаты обработки значений усредненной массы экскаватора для различных масс НВП

Figure 6 – Processing results of the average excavator weight for different VPC masses

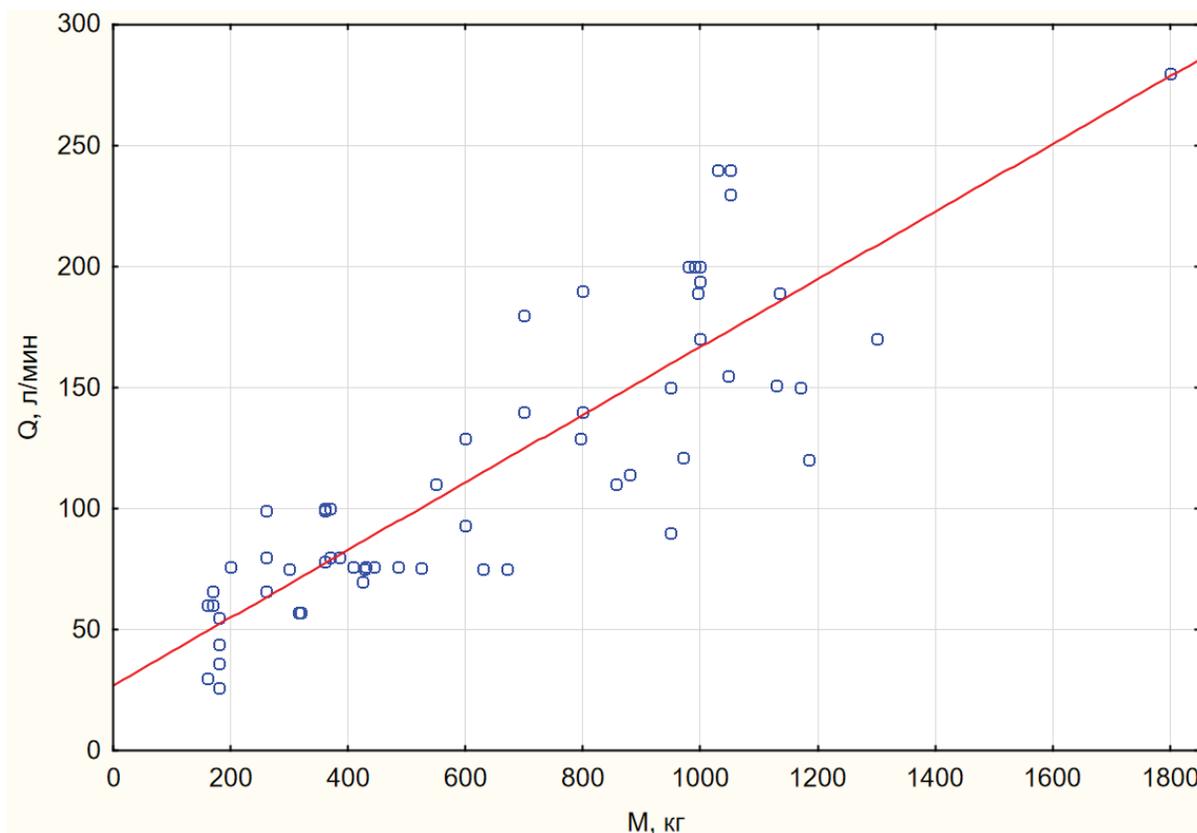


Рисунок 7 – Результаты обработки значений расхода масла НВП для различных масс НВП

Figure 7 – Processing results of the VPC oil consumption for different VPC masses

Несмотря на то, что частота колебаний НВП очень слабо коррелирует с их массой (см. рисунок 3), анализ зависимости требуемого расхода масла Q (рисунок 7) (обеспечивающего частоту колебаний НВП) от массы НВП характеризуется достаточно высоким значением коэффициента детерминации ($R^2 = 0,745$).

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного статистического анализа технических характеристик навесных экскаваторных виброплит установлено, что режим их работы занимает промежуточное положение между режимами работы вибрационных катков и самоходных виброплит. Относительные вынуждающие усилия НВП находятся в диапазоне, более близком к диапазону работы самоходных виброплит, а частоты колеба-

ний находятся в диапазоне, более близком к диапазону работы вибрационных катков.

Существенное превышение вынуждающего усилия НВП их веса (в среднем в 10 раз) приводит к периодическому отрыву основания НВП от грунта в процессе работы, несмотря на дополнительное прижимающее усилие со стороны стрелы экскаватора. Длительность потери контакта основания НВП с грунтом, а также скорость и ускорение основания НВП в момент восстановления контакта будут зависеть от характеристик НВП (массы верхней и нижней частей НВП, количества и характеристик связывающих их амортизаторов, частоты и вынуждающего усилия вибровозбудителя), прижимного усилия стрелы от экскаватора и свойств грунта. Это обстоятельство требует обязательного учета при разработке матема-

тической модели взаимодействия НВП с грунтом в процессе его уплотнения.

Полученные регрессионные зависимости вынуждающего усилия и частоты колебаний НВП, а также размеров основания НВП, массы экскаватора и требуемого расхода масла для работы НВП должны учитываться при разработке методики определения результатов уплотнения НВП грунта в конкретных технологических условиях, а также могут быть использованы производителями при проектировании и модернизации конструкций НВП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тюремнов И.С., Новичихин А.А. Статистический анализ технических характеристик вибрационных плит // *Механизация строительства*. 2014. № 11. С. 32–35.

2. Мусияко Д.В., Расулов Р.А. Самоходная вибрационная плита с вальцем // *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2016. № 4 (43). С. 73–80.

3. Евсеев Е.Ю., Куприянов Р.В., Зубков А.Ф. Анализ применения вибрационных плит для ремонта дорожных покрытий нежесткого типа // *Механизация строительства*. 2011. № 6 (804). С. 28–31.

4. Тюремнов И. С., Игнатъев А. А., Филатов И. С. Статистический анализ технических характеристик грунтовых вибрационных катков // *Вестник ТОГУ*. 2014. № 3(34). С. 81–88.

5. Adam D., Kopf F. Operational Devices for Compaction Optimization and Quality Control (Continuous Compaction Control & Light Falling Weight Device) // *Proceedings of the International Seminar on Geotechnics in Pavement and Railway Design and Construction*, Athens, Greece. 2004. P. 97–106.

6. Тюремнов И.С. Обзор систем непрерывного контроля уплотнения грунта для вибрационных катков. Часть 3. Особенности функционирования и «интеллектуальное уплотнение» // *Вестник ТОГУ*. 2016. № 2(41). С. 115–122.

7. Михеев В.В., Савельев С.В. Математическая модель уплотнения упруго-вязко-пластичной грунтовой среды при взаимодействии с рабочим органом дорожной машины в рамках модифицированного подхода сосредоточенных параметров [Электронный ресурс] // *Вестник СибАДИ*. 2017. №2(54). С. 28–36. Режим доступа: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2\(54\)-28-36](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2(54)-28-36)

8. Евсеев Е.Ю., Матвеев В.Н., Зубков А.Ф. Моделирование процесса взаимодействия вибрационной плиты с горячей асфальтобетонной смесью при ремонте дорожных по-

крытий// *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2012. № 4 (28). С. 70–77.

9. Савельев С.В., Милушенко С.А., Лашко А.Г. Модель взаимодействия рабочего органа вибрационного катка с уплотняемой средой // *Механизация строительства*. 2013. № 1 (823). С. 24–28.

10. Корчагина Е.А., Щербаков В.С. Моделирование динамической системы «возмущающие воздействия – каток – оператор» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/matematicheskaya-model-dinamicheskoy-sistemy-opornaya-poverhnost-katok-operator>.

11. Носов С.В. Технологические режимы работы уплотняющих машин и закономерности уплотнения дорожно-строительных материалов на основе развития их реологии// *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2011. № 3 (23). С. 87–98.

12. Тюремнов И.С., Игнатъев А.А. Уплотнение грунтов вибрационными катками: монография. Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2012. 140 с.

13. Тюремнов И.С., Новичихин А.А. Уплотнение грунтов вибрационными плитами: монография. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. 143 с. 1 электрон. опт. диск.

REFERENCES

1. Tyuremnov I.S., Novichihin A.A. Statisticheskij analiz tehničkih harakteristik vibracionnyh plit [Statistical analysis of the technical characteristics of vibrating plates]. *Mehanizacija stroitel'stva*, 2014; 11: 32–35 (in Russian).

2. Musijako D.V., Rasulov R.A. Samohodnaja vibracionnaja plita s val'cem [Self-propelled vibrating plate with a roller]. *Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016; 4(43): 73–80 (in Russian).

3. Evseev E.Ju., Kuprijanov R.V., Zubkov A.F. Analiz primenenija vibracionnyh plit dlja remonta dorozhnyh pokrytij nezhestkogo tipa [Analysis of the vibrating plates use for repairing pavements of non-rigid type]. *Mehanizacija stroitel'stva*, 2011; 6(804): 28–31 (in Russian).

4. Tyuremnov I.S., Ignat'ev A.A., Filatov I.S. Statisticheskij analiz tehničkih harakteristik gruntovyh vibracionnyh katkov [Statistical analysis of the technical characteristics of ground vibrating rollers]. *Vestnik TOGU*, 2014; 3(34): 81–88.

5. Adam D., Kopf F. Operational Devices for Compaction Optimization and Quality Control (Continuous Compaction Control & Light Falling Weight Device) *Proceedings of the International Seminar on Geotechnics in Pavement and Railway Design and Construction, Athens, Greece*. 2004; 97–106.

6. Tyuremnov I.S. Obzor sistem nepre-ryvnogo kontrolja uplotnenija grunta dlja vibracionnyh katkov. Part 3. Osobennosti funkcionirovaniya i «intelektual'noe uplotnenie» [Overview of continuous soil compaction monitoring systems for vibrating rollers. Part 3. Features of the operation and “intelligent seal”]. *Vestnik TOGU*, 2016; 2(41): 115–122 (in Russian).

7. Miheev V.V., Savel'ev S.V. Matematicheskaja model' uplotnenija uprugovjaskoplasticnoj gruntovoj sredy pri vzaimodejstvii s rabochim organom dorozhnoj mashiny v ramkah modifitsirovannogo podhoda sosredotochennyh parametrov [Mathematical model of compaction of an elastoviscoplastic soil environment when interacting with a working body of a road machine within the framework of a modified approach of lumped parameters]. *Vestnik SibADI*, 2017; 2(54): 28–36 (in Russian). Available at: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2\(54\)-28-36](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2(54)-28-36) (accessed: 08.02.2018)

8. Evseev E.Ju., Matveev V.N., Zubkov A.F. Modelirovanie processa vzaimodejstvija vibracionnoj plity s gorjachej asfal'tobetonnoj smes'ju pri remonte dorozhnyh pokrytij [Modeling the process of interaction of a vibrating plate with a hot mix asphalt during road pavement repair]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2012; 4(28): 70–77 (in Russian).

9. Savel'ev S.V., Miljushenko S.A., Lashko A.G. Bezotryvnye kolebanija. Model' vzaimodejstvija rabocheho organa vibracionnogo katka s uplotnjaemoj sredoj [Model of the interaction of the working body and the vibrating roller with compacted medium]. *Mehanizacija stroitel'stva*, 2013; 1(823): 24–28 (in Russian).

10. Korchagina E.A., Shherbakov V.S. Bezotryvnye kolebanija. Modelirovanie dinamicheskoj sistemy “vozmushhajushhie vozdeystviya - katok - operator” [Simulation of the dynamic system “disturbing influences – roller - operator”]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/matematicheskaya-model-dinamicheskoy-sistemy-opornaya-poverhnost-katok-operator> (accessed: 08.02.2018) (in Russian).

11. Nosov S.V. Bezotryvnye kolebanija. Tehnologicheskie rezhimy raboty uplotnjajushhih mashin i zakonmernosti uplotnenija dorozhno-stroitel'nyh materialov na osnove razvitiya

ih reologii [Technological modes of the compacting machines operation and patterns of the road-building materials compaction based on the development of their rheology]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2011; 3(23): 87–98 (in Russian).

12. Tyuremnov I.S., Ignat'ev A.A. Uplotnenie gruntov vibracionnymi katkami [Soil compaction using vibrating rollers]. *Monografija. Jaroslavl'*, izd-vo JAGTU, 2012; 140 p. (in Russian).

13. Tyuremnov I. S., Novichihin A.A. Uplotnenie gruntov vibracionnymi plitami. *Monografija [Soil compaction using vibrating plates]. Jaroslavl'*, izd-vo JAGTU, 2018; 143 p. (in Russian).

Поступила 01.03.2019, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тюремнов Иван Сергеевич (г. Ярославль, Россия) – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», ORCID 0000-0003-2261-4153 (150023, г.Ярославль, Московский пр-т, 88, e-mail: tyuremnovis@yandex.ru).

Федорова Дарья Владимировна (г. Ярославль, Россия) – старший преподаватель кафедры «Начертательная геометрия и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», ORCID 0000-0001-7885-3159 (150023, г. Ярославль, Московский пр-т, 88, e-mail: darij30@rambler.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan S. Tyuremnov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Road and Construction Machinery Department, Yaroslavl State Technical University, ORCID 0000-0003-2261-4153 (150023, Yaroslavl, Russia, 88 Moskovsky Ave., e-mail: tyuremnovis@yandex.ru).

Darya V. Fedorova – Senior Lecturer of the Descriptive Geometry and Engineering Graphics Department, Yaroslavl State Technical University, ORCID 0000-0001-7885-3159 (150023, Yaroslavl, Russia, 88 Moskovsky Ave., e-mail: darij30@rambler.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Тюремнов Иван Сергеевич – общее руководство работой, написание текста статьи.

Федорова Дарья Владимировна – подготовка исходных данных и статистическая обработка результатов.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Tyuremnov Ivan Sergeyevich – general management and paper writing.

Fedorova Darya Vladimirovna – preparation of basic data and statistical processing of results.

УДК 691.327-666.97.03

ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ ВИБРАТОРОВ ВИБРОПЛОЩАДОК ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Д.В. Фурманов, А.В. Барулев, Н.Е. Тарасова, Е.К. Чабуткин
ФГБОУ ВО «ЯГТУ»,
г. Ярославль, Россия
mercuryj@bk.ru
chabutkin-ek@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. При производстве сборного железобетона уплотнение бетонных смесей чаще всего осуществляется на виброплощадках с применением дополнительного пригруза. Работа оборудования осуществляется в зарезонансном режиме. При включении вибровозбудителя вся система (виброплощадка, форма с изделием и т.д.) проходит через резонанс, что сопровождается увеличенными амплитудами колебаний.

Материалы и методы. Применен экспериментальный метод исследования процесса динамического торможения инерционного вибратора. Параметры торможения и колебания рабочего стола записывались через регистрирующую аппаратуру на компьютер.

Результаты. Окончание процесса уплотнения изделия характеризуется увеличенными амплитудами колебаний рабочего стола. При этом возможен подсос воздуха в изделие и расслоение смеси, что отрицательно сказывается на качестве. Этот эффект наблюдается при выключении вибратора. Снизить отрицательные явления от прохождения резонанса, особенно в конце цикла уплотнения, когда изделие уже сформировано, возможно путем быстрой остановки вибровозбудителей технологической установки. В работе приведены результаты экспериментальных исследований различных способов торможения роторов вибратора. Приведены сравнительные характеристики процесса торможения.

Обсуждение и заключение. Даны рекомендации по использованию наиболее эффективных схем торможения инерционных вибраторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, железобетон сборный, виброплощадка, вибратор, амплитуда колебаний, уплотнение, торможение вибратора.

© Д.В. Фурманов, А.В. Барулев, Н.Е. Тарасова, Е.К. Чабуткин



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DYNAMIC BRAKING OF THE INERTIAL VIBRATOR OF VIBRATORY PLATES FOR CONCRETE MIXES COMPACTING

D.V. Furmanov, A.V. Barulev, N.E. Tarasova, E.K. Chabutkin
Yaroslavl State Technical University,
Yaroslavl, Russia
mercuryj@bk.ru
chabutkin-ek@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The production of precast concrete compaction of concrete mixtures is most often carried out on vibration platforms with the use of additional cantledge. Equipment operation is carried out in the mode, in which the oscillation frequency is higher than the resonant. With the turning on the vibration exciter, the entire system (vibration platform, product shape, etc.) passes through the resonance, which is accompanied by increased vibration amplitudes.

Materials and methods. The authors applied the experimental method of the research of the dynamic braking process of the inertial vibrator. The parameters of the deceleration and oscillation of the desktop were recorded by the computer monitoring installation.

Results. The ending of the product compaction process is characterized by increased oscillation amplitudes of the desktop. At the same time, air could be sucked into the product and the lamination of the mixture could take place, which adversely affects the quality. This effect is observed with the vibrator turning off. To reduce the negative phenomena from the passage of resonance, especially at the end of the sealing cycle when the product is already formed, quickly stopping of the vibration exciters of the technological installation could be applied. The paper presents the results of experimental studies of various methods of the vibrator rotors braking. The authors give comparative characteristics of the braking process.

Discussion and conclusion. The authors give recommendations on the use of the most effective braking schemes of the inertial vibrator.

KEYWORDS: concrete, precast reinforced concrete, vibration platform, vibrator, amplitude of oscillations, sealing, vibrator braking.

© D.V. Furmanov, A.V. Barulev, N.E. Tarasova, E.K. Chabutkin



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

При производстве железобетонных изделий широко применяется оборудование, позволяющее изменять режимы на различных стадиях уплотнения [1]. Уплотнение бетонных смесей с использованием переменных режимов вибрации позволяет улучшить качество выпускаемых изделий. Известно об эффективности использования переменных режимов вибрации с изменением частоты с более низких до более высоких значений^{1, 2} [2, 3]. В данном оборудовании для изменения режима приходится использовать либо два рабочих органа для изменения вынуждающей силы, либо перенастраивать оборудование для изменения частоты. Но в последнее время с применением частотных преобразователей появилась возможность использовать переменные режимы без переналадки и остановки оборудования.

Рядом отечественных и зарубежных исследователей выполнены работы по подбору рациональных режимов работы оборудования при производстве изделий из бетонных смесей [4, 5, 6, 7]. Однако процессы, связанные с непрерывным изменением параметров вибрации, изучены еще недостаточно. Исследования по подбору рациональных режимов уплотнения для производства плит перекрытий из бетона марки М500, проведенные на кафедре СДМ ЯГТУ, на опытной установке с использованием частотного преобразователя (рисунок 1) позволили получить целевую функцию влияния различных факторов на прочность получаемых образцов:

$$[\sigma] = -22,37 + 0,81\omega + 5,35me - 0,2t - 0,13\omega \cdot me + 0,01me \cdot t - 0,001\omega \cdot me \cdot t + 0,002\omega \cdot t,$$

где $[\sigma]$ – предел прочности образца, МПа; ω – частота вибрации, Гц; me – статический момент дебалансов, кг·см; t – время уплотнения, с.



Рисунок 1 – Блок управления опытной виброплощадки

Figure 1 – Control unit of the experimental vibration platform

Наиболее эффективным является режим уплотнения с частотами порядка 20 Гц в течение 35...40 с в начале цикла уплотнения с последующим увеличением частоты до 70...90 Гц [8]. Такая технология по сравнению со стандартной (применение виброплощадки с пригрузом) позволяет повысить прочность изделия примерно на 30% (рисунок 2). Этот вывод косвенно подтверждается и другими исследователями [9, 10].

Очевидно, что повышение качества происходит еще и потому, что регулирование частотного диапазона происходит непрерывно. Из технологического процесса формирования исключены операции выключения вибровозбудителя виброплощадки и включения вибровозбудителя пригруза. При этом нет необходимости многократного прохождения технологического оборудования через резонансный режим (все элементы оборудования работают в зарезонансном режиме [11, 12]), не наблюдается эффектов расслоения смеси и подсоса воздуха.

Однако проблема увеличения амплитуды

¹ Овчинников П.Ф. Виброреология. Киев : Наук. думка, 1983. 272 с.

² Чабуткин Е.К. Барулев А.В. О некоторых аспектах уплотнения бетонных смесей // Составляющие научно-технического прогресса : сб.тр. Всеросс. конф. Тамбов, 2008. С. 134–136.

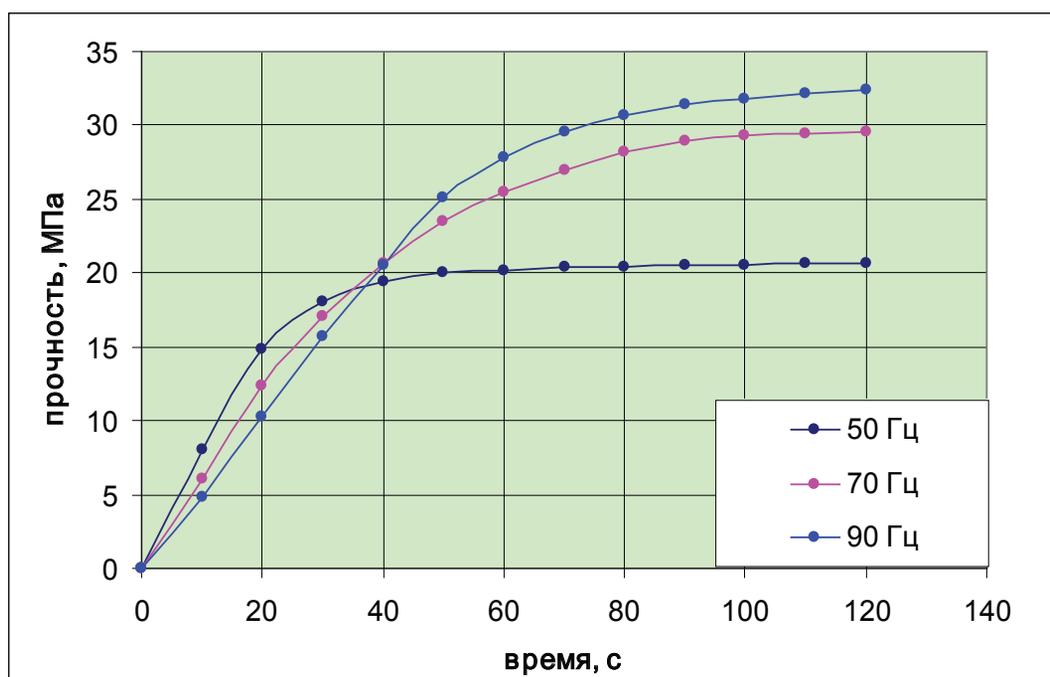


Рисунок 2 – Зависимость прочности от времени уплотнения при различных значениях частоты вибрации

Figure 2 – Strength dependence from the time of the sealing at different vibration frequencies

колебания виброплощадки при ее выключении остается, так как при этом все равно приходится проходить через резонансный режим. Для снижения этого эффекта необходимо как можно быстрее остановить работу вибровозбудителя. Однако большие массы отдельных элементов технологического оборудования и самого изделия зачастую затрудняют решение данного вопроса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теоретический анализ эффективности того или иного способа торможения двигателя вибратора требует точного определения нагрузки на двигатель, действительное значение которой неизвестно. Кроме того, в процессе эксплуатации меняются параметры системы, например масса изделий, размещаемых на вибростол, напряжение в сети переменного тока и т. д. Поэтому для обоснования эффективного способа торможения вибратора был выбран экспериментальный метод.

С этой целью был дооснащен необходимым электрооборудованием вибропресс ОПТБ-400, разработанный на кафедре «Стро-

ительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета.

Вибропресс ОПТБ-400 (рисунок 3), предназначенный для производства теплоэффективных блоков³ [15, 16], тротуарной плитки, рядовых блоков и других изделий небольших габаритных размеров, предназначенных для гражданского строительства.

Оборудование состоит из рамы 1, двух направляющих 2, по которым перемещается траверса 3 с матрицей 4 и пуансонами. Вибростол 5 с двумя промышленными вибраторами 6 устанавливается на раме через блок пружин 7. Для задач эксперимента на одну из направляющих вибропресса устанавливался лазерный датчик перемещений 8, показания которого преобразовывались через измерительную систему 9 и записывались на компьютер 10.

В ходе эксперимента были последовательно реализованы схемы без динамического торможения, с замыканием обмоток двигателя вибратора, с конденсатором и с кратковременной подачей постоянного тока. В цепь управления устанавливалось реле времени с возможностью регулирования времени задержки отключения от 0,1 до 5 с.

³ Справочник по электрическим машинам : в 2 т. / под общ. ред. И. П. Копылва, Б.К. Клокова. М. : Энергоатомиздат, 1989. 688 с.



Рисунок 3 – Общий вид вибропресса ОПТВ-400 с установленной измерительной системой

Figure 3 – General view of OPTB-400 vibropress with installed measuring system

РЕЗУЛЬТАТЫ

Решением проблемы может стать торможение ротора вибратора в момент его отключения. Причем требуется торможение вибратора в резонансной зоне частоты колебаний. При достижении дорезонансной частоты остановка вибратора может продолжаться за счет сил сопротивления в подшипниках и на качество изделий не повлияет в виду существенного уменьшения амплитуды вынуждающей силы. Известно несколько эффективных способов торможения⁴.

Механическое торможение вибраторов приводит к существенному усложнению конструкции, и, соответственно, стоимости. Кроме того, конструктивная реализация таких решений для мощных типовых промышленных вибраторов невозможна.

Выходом для решения проблемы может стать динамическое торможение электродвигателя вибратора⁵, которое может быть реали-

зовано по схемам с кратковременным включением в цепь электродвигателя конденсатора, или постоянного тока (рисунок 4, а, б). Кроме того могут быть реализованы схемы с кратковременным обратным включением и замыканием обмоток в период отключения вибратора (рисунок 4, в, г).

Схемы защищены автоматическим выключателем QF1, а электродвигатель – дополнительно защищен плавкими вставками. Подвод питания на электродвигатель осуществляется при помощи контактора K1, установленного совместно с кнопкой включения S1 и кнопкой отключения S2. Для схемы с замыканием обмоток устанавливается контактор с контактами в виде переключателя.

Реализация схем с конденсаторами, кратковременным противовключением и кратковременной подачей на обмотки постоянного тока возможна только при использовании реле времени, коммутируемого от кнопки выключения S2 вторым контактом. С этой целью

⁴ Там же.

⁵ Чернышев А.Ю., Дементьев Ю.Н., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока : учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 213 с.

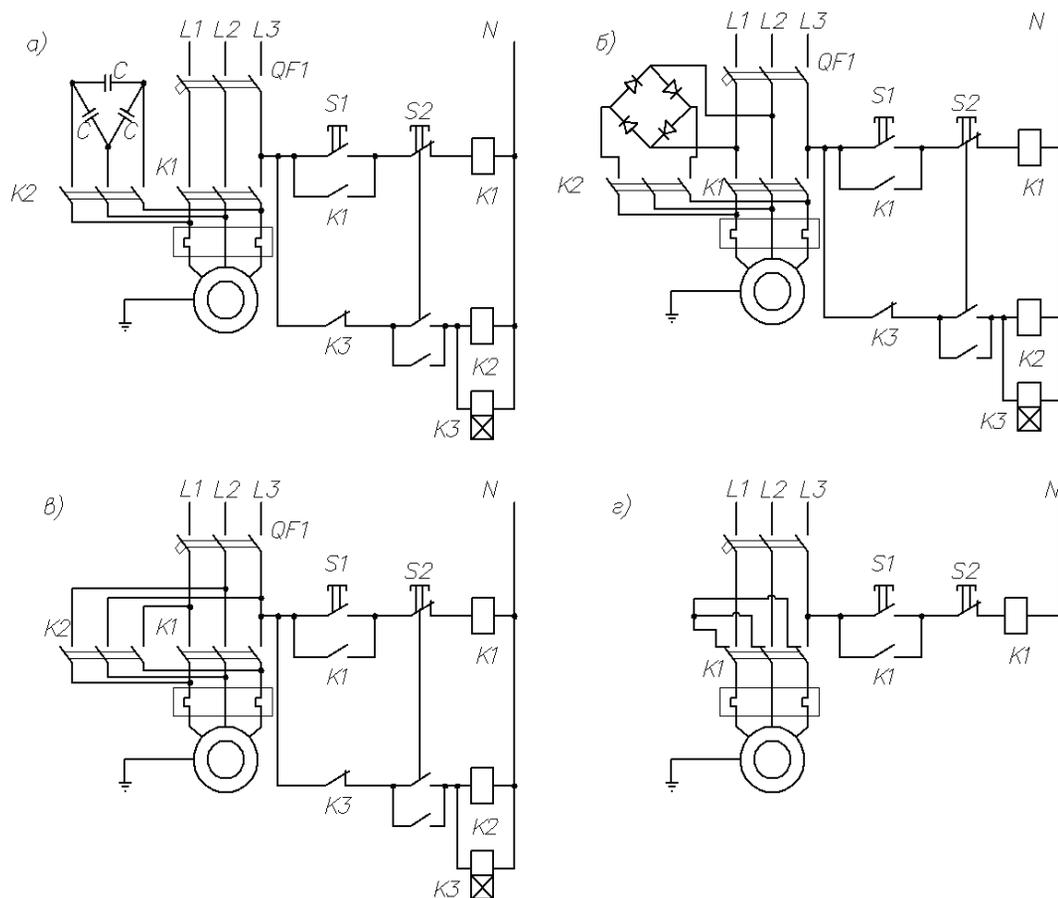


Рисунок 4 – Схемы динамического торможения электродвигателя вибратора:
а – с включением конденсаторов; б – с включением постоянного тока;
в – с кратковременным обратным включением; г – с замыканием обмоток

Figure 4 – Schemes of dynamic braking of the vibrators electromotor
a – with the inclusion of capacitors; b – with the inclusion of direct current;
c – with short-term reverse inclusion; d – with closing windings

дополнительно замыкается катушка контактора K2 и катушка реле времени K3 с задержкой отключения. По истечении необходимого времени, которое задается в зависимости от характера процесса торможения от 0,3 до 2 с, контакт катушки K3 размыкается, разрывая цепь катушки K2.

Каждая из указанных схем имеет право на существование, однако эффективность того или иного метода динамического торможения будет различной. Это связано с тем, что ЭДС самоиндукции ротора поддерживается за счет наличия тока в обмотках статора и некоторой минимальной частотой вращения вала двигателя. Учитывая это, при однократной потере ЭДС в обмотках короткозамкнутого ротора двигателя вибратора, дальнейший процесс торможения будет невозможен. Процесс торможения также будет невозможен пассивными

методами до полной остановки вала двигателя. К пассивным методам следует отнести все перечисленные методы, кроме торможения противовключением.

Следовательно, можно ожидать, что торможение каким-либо методом будет осуществляться только до достижения некоторой частоты вращения двигателя, ниже которой ЭДС самоиндукции ротора перестанет наводиться. Важно, чтобы эта частота соответствовала частоте колебаний вибратора и находилась в диапазоне существенно ниже резонансной или собственной частоты колебаний виброплощадки.

В ходе экспериментальных работ построены осциллограммы перемещений виброплощадки для различных схем торможения двигателя вибратора, некоторые из которых представлены на рисунке 5.

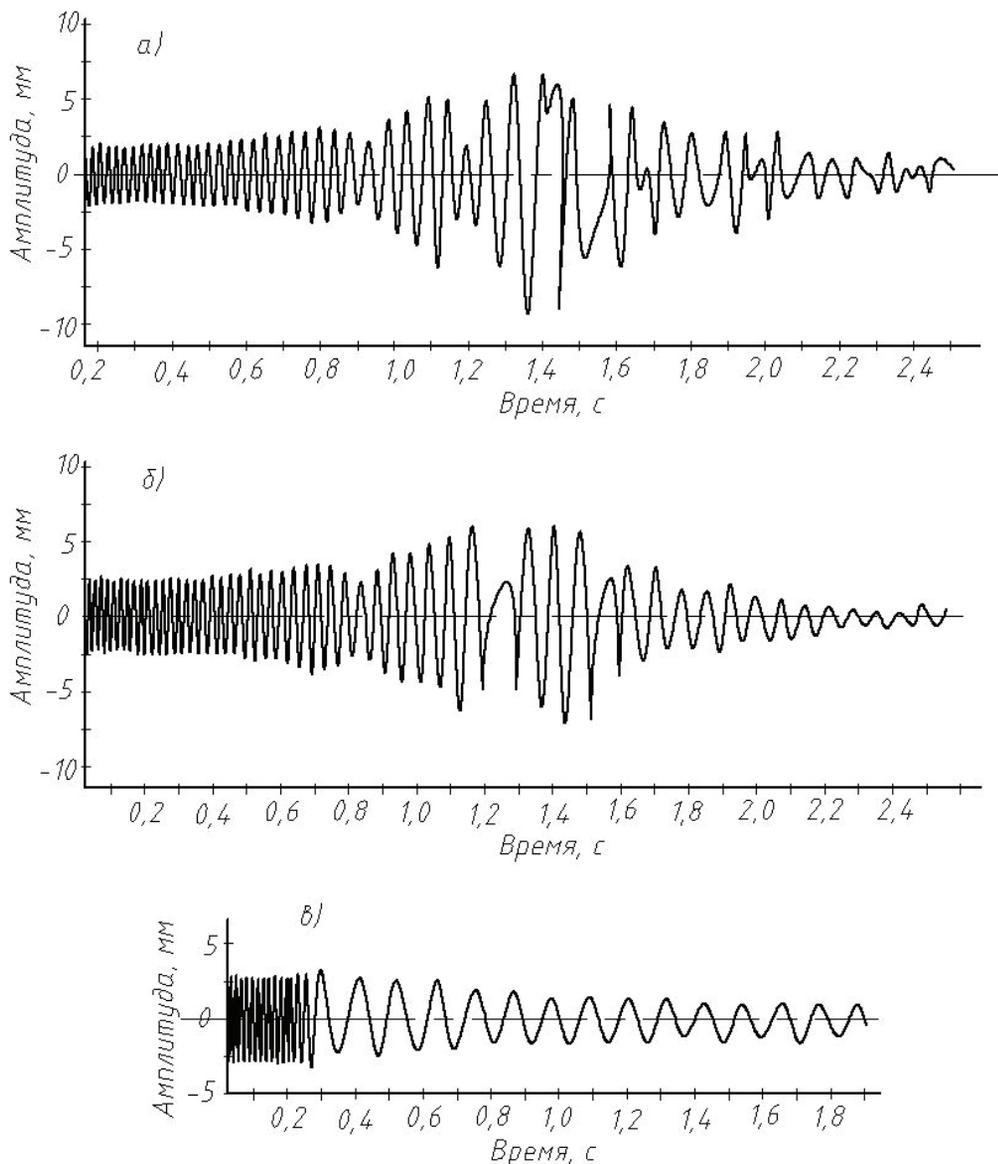


Рисунок 5 – Амплитуды колебаний виброплощадки для различных способов торможения двигателей вибратора: а – с замыканием обмоток статора; б – с включением конденсаторов; в – кратковременное включение постоянного тока

Figure 5 – Vibration amplitudes of the vibration platform at the different methods of vibrator motors braking a – with closing of the stator windings; b – with the inclusion of capacitors; c – short-term inclusion of direct current

Опыт торможения противовключением обмоток двигателя показал высокую эффективность, проявляющуюся в быстрой остановке двигателя. Однако сам процесс торможения весьма не стабилен. Ввиду неоднородности нагрузки на вал вибратора (дебалансы вибровозбудителя представляют собой большие, неуравновешенные инерционные массы) и неточности срабатывания реле времени, валы вибратора либо начинали вращаться в обрат-

ную сторону (переход границы полной остановки вибровозбудителя), либо не успевали полностью остановиться при срабатывании реле времени. Все это негативно отражается на амплитуде колебаний виброплощадки и велика вероятность приближения к резонансному режиму работы оборудования. Очевидно, что из-за повышенной нестабильности процесса торможения противовключением его невозможно рекомендовать для использования

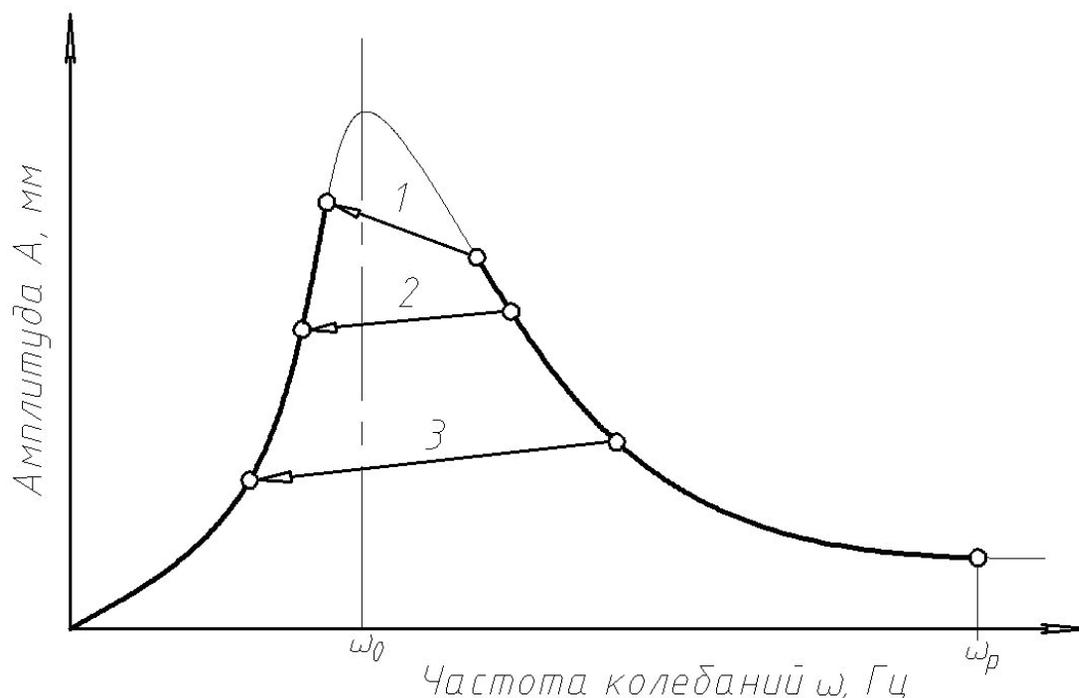


Рисунок 6 – Амплитудно-частотная характеристика колебаний виброплощадки при различных способах торможения ротора вибратора:
1 – торможение путем замыкания обмоток статора; 2 – торможение подключением конденсаторов; 3 – торможение кратковременным включением в цепь постоянного тока

Figure 6 – Amplitude-frequency characteristic of vibrations of the vibration platform at different methods of inhibition of the vibrator rotor:
1–braking by closing the stator windings; 2–braking by connecting capacitors; 3–braking by short-term inclusion in the DC circuit

на больших промышленных установках. Вероятно, при включении в схему управления виброплощадкой программируемого частотного преобразователя удастся несколько стабилизировать процесс торможения, но это требует дополнительного изучения.

Процесс динамического торможения путем замыкания обмоток статора не является эффективным (рисунок 5,а). Для этого метода характерно существенное повышение амплитуды перемещений стола виброплощадки, несмотря на то, что в начале процесса торможения остановка вала вибратора имеет место. Очевидно, что этот эффект связан с медленным прохождением резонансного диапазона. Анализ осциллограмм показывает, что данный процесс занимает до 1,2 секунды с одновременным увеличением амплитуды раскачки в 2...3 раза. На больших промышленных виброплощадках с мощными вибровозбудителями процесс торможения будет еще более длительным со значительной раскачкой стола.

При подключении конденсаторов происходит аналогичный эффект. Однако время про-

хождения резонансного диапазона несколько сокращается и занимает до 0,8 с (рисунок 5, б). Динамическое торможение при использовании этого способа осуществляется слабо, а при низких частотах вращения вообще отсутствует. Объяснить этот эффект возможно тем, что двигатель работает в обоих случаях в генераторном режиме. Ток генератора в этом случае зависит от остаточной магнитной индукции ротора, которая в период отключения весьма ослабевает.

Способ динамического торможения кратковременным включением в цепь постоянного тока, как показали результаты исследований, оказался наиболее эффективным. Увеличение амплитуды колебаний виброплощадки при таком подключении незначительно (рисунок 5, в), а время прохождения резонансного диапазона занимает не более 0,2 с. Дальнейшие перемещения стола происходят за счет инерционности больших масс (конструкция самой виброплощадки, форма и само изделие), но без раскачки до полной остановки рабочего органа установки.

Сопоставление теоретической амплитудно-частотной характеристики виброплощадки⁶ и экспериментальных данных по торможению (см. рисунок 5) показало, что большое влияние оказывает время перехода с резонансного режима в дорезонансный (рисунок 6).

При динамическом торможении путем замыкания обмоток статора из-за большой инерционности процесса вся система выходит на высокие дорезонансные амплитуды (кривая 1). При подключении конденсаторов инерционность процесса несколько ниже, однако амплитуды колебаний остаются достаточно высокими (кривая 2). Способ динамического торможения кратковременным включением в цепь постоянного тока позволяет снизить инерционность процесса, а значит и свести время перехода к минимуму (кривая 3), что оказывает положительное влияние на качестве изделия [15].

В то же время следует отметить, что эксперимент проводился без нагрузки рабочего стола виброплощадки. Очевидно, что время торможения ротора вибратора останется соразмерным полученным результатам, поскольку инерционные массы ротора остаются неизменными.

При увеличении нагрузки на рабочем столе изменится структура амплитудно-частотной характеристики площадки (резонансная частота, высота пика амплитуды при переходе через резонанс и т.д.). При этом могут измениться и амплитудные составляющие переходного процесса торможения. В связи с вышесказанным в дальнейшем потребуется дополнительно изучить влияние параметров рабочего оборудования на переходный режим торможения и, соответственно, на прочность выпускаемого изделия.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование частотных преобразователей в схеме управления виброплощадки при производстве сборного бетона и железобетона позволяет управлять режимом уплотнения непрерывно и подбирать рациональные параметры под конкретные характеристики изделия. При этом возможно повышение как прочностных характеристик, так и других качественных показателей.

Однако до настоящего времени не решен вопрос раскочки стола виброплощадки в мо-

мент остановки оборудования, что приводит к снижению характеристик уже сформированного изделия. Решением проблемы может стать торможение ротора вибратора в момент его отключения.

Экспериментальная проверка различных способов торможения инерционных вибраторов показала, что наиболее эффективным является динамический способ торможения кратковременным включением в цепь постоянного тока. При этом затраты на оборудование совсем незначительны.

В то же время переходные процессы торможения зависят не только от инерционной массы ротора вибратора, но и от параметров рабочего оборудования, в частности от массы рабочего стола с формой и изделием, жесткости подвески стола. Влияние этих параметров на указанные переходные процессы требует дальнейшего изучения.

Проведенные исследования могут представлять интерес как для конструкторов, разрабатывающих новое оборудование для формирования изделий из бетона, так и для эксплуатирующих организаций, заинтересованных в повышении качества выпускаемых изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Maslov A.G. & Salenko Y.S. *Vibrating machines and processes in road construction industry: monograph*. PB Cherbatiyh, Kremenchuk, Ukraine. 2014.
2. Juradin S, Baloević G & Harapin A *Impact of Vibrations on the Final Characteristics of Normal and Self-compacting Concrete*. *Journal of Materials Research*, 2014, 17(1), pp. 178–185.
3. Маслов А.Г., Жанар Батсайхан *Исследование колебаний рабочего органа машины для уплотнения бетонных смесей в вибрационном рабочем режиме // Вестник КрНУ имени Михаила Остроградского*. 2015. Выпуск 2 (91). С. 120–125.
4. Chen X, Wu S & Zhou J, *Experimental study and analytical formulation of mechanical behavior of concrete*, *Journal of Construction and Buildings Materials*, 2013, Vol. 47, pp. 662–670.
5. Kłosiński J., Trąbka A. *Frequency analysis of vibratory device model (in Polish)*. *Pneumatyka*, 2010, 1, pp. 46–49.
6. Tattersall G.H. *Effect of Vibration on the Rheological Properties of Fresh Cement Pastes*

⁶ Барулев А.В., Чабуткин Е.К. Исследование переходных режимов при уплотнении бетонных смесей при помощи математической модели. Математика и математическое образование. Теория и практика : межвуз. сб. науч. тр. Вып. 7. Ярославль : ЯГТУ, 2010. С. 213–219.

and Concretes, Rheology of Fresh Cement and Concrete, Proceedings of the International Conference, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16 - 29, Chapman and Hall, London, 1990, pp. 323–338.

7. Nesterenko M., Maslov A., Salenko J. Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture International Journal of Engineering & Technology, 2018, 7 (3.2), pp. 260–264

8. Чабуткин Е.К., Барулев А.В. Производство бетонных смесей с использованием регулируемых режимов вибрации // Строительные и дорожные машины. 2015. № 4. С.16–18.

9. Koh H.B., Yeoh D & Shahidan S Effect of re-vibration on the compressive strength and surface hardness of concrete. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2017, 271, 012057.

10. Sudarshan NM & Chandrashekar Rao T Vibration Impact on Fresh Concrete of Conventional and UHPFRC. International Journal of Applied Engineering Research, 2017, Vol. 12, 8thedn, pp. 1683–1690.

11. Maslov A.G, Itkin A.F. & Salenko Y.S. Vibrating machines for the preparation and compaction of concrete mixes. PB Cherbatyh, Kremenchuk, Ukraine. 2014.

12. Stacenko A.S. Technology of stone works in construction. Vysh. shk., Minsk, Belorussia. 2010.

13. Афанасьев С.А. Строительный материал – теплоблок // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 2056–2058.

14. Морозова Е.В. Перспективы применения теплоблоков в гражданском строительстве Кемеровской области // В сборнике: Россия молодая. Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. 2015. С. 708.

15. Чабуткин Е.К., Барулев А.В. Опыт использования переменных режимов вибрации при производстве ЖБИ // Механизация строительства. 2017. Т.78, № 7. С.38–41.

REFERENCES

1. Maslov A.G. & Salenko Y.S. Vibrating machines and processes in road construction industry: *monograph*. PB Cherbatyh, Kremenchuk, Ukraine. 2014.

2. Juradin S, Baloević G & Harapin A, Impact of Vibrations on the Final Characteristics of Normal and Self-compacting Concrete. *Journal of Materials Research*, 2014; 17(1): 178–185.

3. Maslov A.G., Zhanar Batsaikhan Issledovanie kolebanii rabochego organa mashiny dlia uplotnenia betonnyh smesei v vibracionnom rabocem regime [Study of oscillations of the working body of the machine for compaction of concrete mixes in a vibratory operating mode]. *Bulletin of KrNU named after Mikhail Ostrogradsky*. Kremenchug, 2015; 2 (91): 120–125 (in Russian).

4. Chen X, Wu S & Zhou J, Experimental study and analytical formulation of mechanical behavior of concrete. *Journal of Construction and Buildings Materials*, 2013; 47: 662–670.

5. Kłosiński J., Trąbka A. Frequency analysis of vibratory device model (in Polish). *Pneumatyka*, 1, 2010; pp. 46–49.

6. Tattersall G.H. Effect of Vibration on the Rheological Properties of Fresh Cement Pastes and Concretes, Rheology of Fresh Cement and Concrete, *Proceedings of the International Conference*, P. F. G. Banfill, ed., University of Liverpool, UK, Mar. 16- 29, Chapman and Hall, London, 1990; pp. 323–338.

7. Nesterenko M., Maslov A., Salenko J. Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture. International Journal of Engineering & Technology, 2018; 7(3.2): 260–264.

8. Chabutkin E.K., Barulev A.V. Proizvodstvo betonnyh smesei s ispolzovaniem reguliruemyh regimov vibracii [Production of concrete mixtures using controlled vibration modes]. *Construction and road machines*, 2015; 4: 16–18 (in Russian).

9. Koh HB, Yeoh D & Shahidan S. Effect of re-vibration on the compressive strength and surface hardness of concrete. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017; p. 271.

10. Sudarshan NM & Chandrashekar Rao T Vibration Impact on Fresh Concrete of Conventional and UHPFRC. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017; 8(12): 1683–1690.

11. Maslov A.G, Itkin A.F. & Salenko Y.S. Vibrating machines for the preparation and compaction of concrete mixes. PB Cherbatyh, Kremenchuk, Ukraine. 2014.

12. Stacenko A.S. Technology of stone works in construction. *Vysh. shk.*, Minsk, Belorussia, 2010.

13. Afanasiev S.A. Stroitelnyi material - teploblok [Building material – heat block]. *In the collection: international scientific and technical conference of young scientists BSTU. V. G. Shukhov, Belgorod state technological University. V. G. Shukhov*. 2016; pp. 2056–2058 (in Russian).

14. Morozova E.V. Perspektivy primeneniya teploblokov v gradanskom stroitelstve Kemerovskoi oblasti [Prospects of application of

heat blocks in civil engineering of the Kemerovo region]. In the collection: *Russia young collection of materials VII all-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation*, Kemerovo, 2015. 708 p. (in Russian).

15. Chabutkin E.K. Opyt ispolzovania peremennykh regimov vibracii pri proizvodstve GBI [Experience with the use of variable modes of vibration in the production of concrete]. *Mechanization of construction*, 2017; 7(78): 38–41 (in Russian).

Поступила 06.03.2018, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фурманов Денис Владимирович – канд. техн. наук, доц., кафедра «Строительные и дорожные машины», «Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)», ORCID 0000-0002-6932-6477 (150023, Ярославская область, г. Ярославль, Московский просп., д. 88), e-mail: merkuryj@bk.ru.

Барулев Антон Владимирович – инженер, кафедра «Строительные и дорожные машины», «Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)», (150023, Ярославская область, г. Ярославль, Московский просп., д. 88), e-mail: antonbarulev@yandex.ru.

Тарасова Наталья Евгеньевна – канд. техн. наук, доц., кафедра «Строительные и дорожные машины», «Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)», (150023, Ярославская область, г. Ярославль, Московский просп., д. 88), E-mail: tarasovane@ystu.ru.

Чабуткин Евгений Константинович – канд. техн. наук, доц., кафедра «Строительные и дорожные машины», «Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ)», ORCID 0000-0001-6979-410X (150023, Ярославская область, г. Ярославль, Московский просп., д. 88), e-mail: chabutkin-ek@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Denis V. Furmanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl State Technical University (YGTU), ORCID 0000-0002-

6932-6477 (150023, Yaroslavl Region, Yaroslavl, 88 Moskovsky Ave., e-mail: merkuryj@bk.ru).

Anton V. Barulev – Engineer, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl State Technical University (YGTU) (150023, Yaroslavl Region, Yaroslavl, 88 Moskovsky Ave., e-mail: antonbarulev@yandex.ru).

Natalia E. Tarasova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl State Technical University (YGTU) (150023, Yaroslavl Region, Yaroslavl, 88 Moskovsky Ave., e-mail: tarasovane@ystu.ru).

Evgenii K. Chabutkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Construction and Road Machines Department, Yaroslavl State Technical University (YGTU), ORCID 0000-0001-6979-410X (150023, Yaroslavl Region, Yaroslavl, 88 Moskovsky Ave., e-mail: chabutkin-ek@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Фурманов Денис Владимирович – общее руководство работой, разработка схемы экспериментальной установки, участие в проведении экспериментальных исследований и обработке полученных результатов.

Барулев Антон Владимирович – изготовление и настройка экспериментального оборудования, планирование эксперимента, участие в проведении экспериментальных исследований, написание вводной части работы.

Тарасова Наталья Евгеньевна – участие в проведении экспериментальных исследований, обработка полученных результатов, написание основного раздела работы.

Чабуткин Евгений Константинович – общее руководство работой, корректировка содержательной части работы, формулирование результатов работы.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Denis V. Furmanov – general management of the research, development of the experimental setup scheme, participation in experimental research and processing of the obtained results.

Anton V. Barulev – production and adjustment of experimental equipment, planning of experiment, participation in experimental research, writing of the introduction part of the paper.

Natalia E. Tarasova – participation in experimental research, processing of the obtained results, writing of the results part of the paper.

Evgenii K. Chabutkin – general management of the research, correction of the paper content, results formulation.

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

К. Исаков, Л.Н. Стасенко, А.Ш. Алтыбаев, Д. Дайырбекова*
Кыргызский государственный университет строительства,
транспорта и архитектуры им. Н. Исанова,
г. Бишкек, Кыргызская Республика
*amanjazu@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Введение. Пропускная способность относится к основным показателям, характеризующим условия работы городских улиц и автомобильных дорог. За пропускную способность улицы в целом принимается минимальная величина определенного сечения, к которой относятся регулируемые пересечения в одном уровне. Пропускная способность пересечений в одном уровне во многом определяет производительность всей транспортной системы города, уровень комфорта и безопасности перемещений. Повышение пропускной способности регулируемых пересечений необходимо не только для улучшения условий движения, но и для повышения экологичности и удобства движения всего потока автомобилей по улице.

Материалы и методы. Практически на всех регулируемых пересечениях города образуются очереди транспортных средств, которые растягиваются на десятки метров. Затормозившиеся становятся обыденным явлением не только в часы пик, но и в течение всего светлого времени суток. Для определения влияния режима светофорного регулирования на уровень пропускной способности сечения «стоп» проведены расчеты данного показателя при различных значениях пофазного коэффициента на городских пересечениях в одном уровне с различной схемой организации движения.

Результаты. В данной статье представлены результаты изучения динамики пропускной способности регулируемых пересечений, наблюдаемой при изменении параметров цикла работы светофорных объектов.

Обсуждение и заключение. Для изучения степени влияния параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность регулируемых пересечений в одном уровне были проведены наблюдения за условиями движения транспортных потоков на регулируемых пересечениях города Бишкек. В качестве объектов исследования выбраны 6 загруженных транспортными потоками перекрестков.

Научная новизна работы. Оценка возможности повышения пропускной способности сечения «стоп» регулируемых пересечений с разными схемами организации движения путем изменения продолжительности цикла регулирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пропускная способность, транспортные средства, пересечение, полоса движения, сечение «стоп», режим регулирования.

© К. Исаков, Л.Н. Стасенко, А.Ш. Алтыбаев, Д. Дайырбекова



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE TRAFFIC-LIGHT REGULATION CYCLE ON THE ROAD CAPACITY OF REGULATED INTERSECTIONS

K. Isakov, L.N. Stasenko, A.Sh. Altybaev, D. Daiyrbekova*

*Kyrgyz State University of Construction, Transportation and Architecture named after N.Isanov,
Bishkek, Kyrgyz Republic
amanjazu@gmail.com

ABSTRACT

Introduction. Road capacity refers to the main indicators, characterizing the working conditions of streets and highways. For the street capacity as a whole the minimum value of a certain section is taken, which includes adjustable intersections in one level.

The capacity of intersections in one level largely determines the performance of the entire city transport system, the level of comfort and safety of movement. Therefore, the increase of the regulated intersections' capacity is necessary not only for improving the traffic conditions, but also for improving the economy and movement comfort of the entire stream of cars on the street.

Materials and methods. Traffic jams form almost on all regulated intersections of the city and stretch more than ten meters. Traffic jams becomes commonplace not only during rush hours, but also during the whole day.

Results. The paper presents the results of the dynamic research of the adjustable intersections' throughput observed while changing the parameters of the traffic lights' cycle.

Discussion and conclusions. The authors monitor the traffic flow conditions on the regulated intersections of Bishkek to study the degree of influence of the traffic light regulation cycle parameters on the road capacity of the regulated intersections in one level. The authors select 6 problem intersections as research objects.

KEYWORDS: road capacity, vehicles, intersection, lane, "stop" section, control mode.

© K. Isakov, L.N. Stasenko, A.Sh. Altybaev, D. Daiyrbekova



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

На улицах города Бишкек, так же как и на улицах других крупных городов, в последние годы наблюдается движение плотных транспортных потоков, интенсивность транспорта близка к пропускной способности проезжей части, снижается скорость автомобилей, увеличиваются очереди автомобилей перед регулируемыми перекрестками, ухудшаются условия движения в целом [1,2,3]. Все более остро встает вопрос повышения пропускной способности сети¹ [4].

Пропускная способность дороги – это максимальное значение интенсивности дорожного движения в одном направлении на определенном участке дороги при условии обеспечения безопасности дорожного движения², она является одним из главных параметров, характеризующих условия движения транспортных потоков. При наличии на участке улицы регулируемых пересечений в одном уровне оценка пропускной способности ее ведется с учетом пропускной способности в створе стоп-линий пересечений. Сокращение времени проезда регулируемых пересечений позволяет улучшить условия движения на всем протяжении улицы, увеличить ее пропускную способность, а следовательно, и пропускную способность улично-дорожной сети^{3, 4, 5}.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При определении пропускной способности полосы движения проезжей части в сечении линии «Стоп» принимаем следующие положения^{6, 7} [5]:

- все автомобили, движущиеся через перекресток, могут задерживаться перед светофором, что имеет место на практике при движении транспортных потоков значительной плотности при полном использовании пропускной способности проезжей части;

- вследствие образования очереди автомобилей перед перекрестком после включения разрешающего сигнала светофора скорость транспортных средств, начинающих движение через пересечение, и временные интервалы между ними одинаковы, независимо от динамических качеств конкретных автомобилей.

При наличии изложенных условий пропускную способность одной полосы проезжей части в сечении стоп-линии можно рассчитать по формуле

$$N = \frac{3600(t_3 - a)}{t_n T_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

где t_3 – время горения зеленой фазы светофора, с; a – задержка транспортных средств на старте; t_n – средний интервал движения автомобилей через стоп-линию, с; $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла регулирования, с.

Принимая во внимание, что движение через стоп-линию не только начинается с небольшим запаздыванием после включения разрешающего сигнала, но и заканчивается несколько позже момента его окончания, формулу (1) представляем в виде⁸ [11, 13]:

$$N = \frac{3600 \times t_3}{t_n T_{\text{ц}}}. \quad (2)$$

Определяющим фактором изменения пропускной способности створа стоп-линии регулируемого перекрестка является отношение времени горения зеленого сигнала к общей продолжительности цикла регулирования – пофазный коэффициент. Пофазный коэффициент K_{ϕ} вычисляется по формуле

$$K_{\phi} = \frac{t_3}{T_{\text{ц}}}, \quad (3)$$

где t_3 – время горения зеленого сигнала светофора; $T_{\text{ц}}$ – принятая длительность цикла регулирования на пересечении

¹ Маркуц В.М. Транспортные потоки автомобильных дорог. М. : Инфра-Инженерия, 2018. 148 с.

² Федеральный закон РФ №443-ФЗ от 29.12.2017 года «Об организации дорожного движения в РФ и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».

³ Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. М. : Транспорт, 2002. 240 с.

⁴ Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. М. : Росавтодор, 2012. 47 с.

⁵ Пугачёв И.Н., Горев А.Э., Олещенко Е.М. Организация и безопасность дорожного движения. М. : Издательский центр «Академия», 2009. 272 с.

⁶ Булавина Л.В. Расчет пропускной способности магистралей и узлов. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ УПИ, 2009. 43 с.

⁷ Самойлов Д.С., Юдин В.А., Рушевский П.В. Организация и безопасность городского движения. М. : Высшая школа, 1981. 254 с.

⁸ Фишельсон М.С. Городские пути сообщения. М. : Высш. школа, 1980. 296 с.

Таблица 1
Характеристика пересечения

Table 1
Intersection characteristics

Наименование улиц	Класс пересечения	$I_{гл.}:I_{вр.}$	Количество полос в одном направлении движения на перегоне		Количество полос движения в сечении «стоп»	
			главная	второст.	главная	второст.
1	2	3	4	5	6	7
Горького – Байтик баатыра	IV	1:0,97	2	2	3	3
Абдрахманова – Чуй	IV	1:0,99	2	2	3	3
Медерова – Байтик баатыра	V	1:0,72	2	1	3	3
Медерова – Юнусалиева	VI	1:0,85	2	1	3	3
Байтик баатыра – Кулатова	V	1:0,5	2	1	3	2
Айтматова – Айни	V	1:0,7	2	1	3	2

Условные обозначения: $I_{гл.}:I_{вр.}$ – соотношение удельных интенсивностей движения на пересекающихся улицах.

$$t_3 = T_u \times K_\phi. \quad (4)$$

Подставляя значение t_3 в формулу (2), получаем

$$N = \frac{3600 \times K}{t_{\Pi}}. \quad (5)$$

Учитывая, что в условиях смешанного потока автомобилей, движущихся по улицам г. Бишкек, величину t_{Π} рекомендуется принимать равной трем секундам⁹, получаем формулу расчета пропускной способности полосы движения в сечении «стоп»:

$$N_{\Pi} = 1200 K_\phi. \quad (6)$$

Для оценки влияния параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность пересечений в одном уровне¹⁰ были проведены наблюдения за движением транспортных потоков на шести регулируемых пересечениях г. Бишкек.

В таблицах 1 и 2 даны характеристики рассматриваемых пересечений¹¹.

При проведении исследований время горения зеленого сигнала по направлениям изменялось пропорционально соотношению

удельной интенсивности движения на подходах к пересечению. На пересечениях с трех- и четырехфазным регулированием движения увеличивалась длительность горения разрешающего сигнала только при пропуске транспортных потоков прямого направления. Время пропуска левоворотных потоков на пересечениях ул. Байтик баатыра и ул. Медерова, ул. Байтик баатыра и ул. Кулатова оставалось неизменным, равным 8 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим конкретные случаи определения пропускной способности улиц в сечении «стоп», принимая во внимание схемы организации движения на исследуемых пересечениях. При расчете количество полос движения в изучаемом сечении принимаем согласно данным таблице 1. Формулы расчета пропускной способности проезжей части в сечении «стоп» имеют вид:

1. В сечении – две полосы движения, что наблюдается:

а) по ул. Кулатова на примыкании ул. Кулатова – ул. Байтик баатыра. Прямые потоки отсутствуют, правые повороты выполняются с крайней правой полосы, левые – с крайней левой полосы. При движении имеют место

⁹ Там же.

¹⁰ Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений : учебное пособие. Иркутск : ИрГТУ, 2007. 208 с.

¹¹ Там же.

конфликты между транспортными потоками и пешеходными. Пропускная способность всего сечения составит

$$N_c = 1,8 N_n, \quad (7)$$

б) по ул. Айни на пересечении пр. Айтматова–ул. Айни движение в прямом направлении возможно по обеим полосам, правые повороты совершаются с крайней правой полосы, левые – с левой полосы. Возможны конфликты между транспортными потоками прямого и поворотных направлений. Пропускную способность сечения «стоп» (N_m) можно вычислить по формуле

$$N_c = \eta N n, \quad (8)$$

где η – коэффициент, учитывающий влияние левоповоротного движения и зависящий от его размеров $\eta = f(\alpha)$. Учитывая, что движение по левой полосе осуществляется в двух конфликтующих направлениях (прямое и левоповоротное движение), а также, что интенсивность левоповоротного движения на пересечении не превышает 20%, коэффициент η принимаем равным 1,6.

2. В сечении «стоп» три полосы движения:

а) На пересечениях пр. Чуй–ул. Абдрахманова, ул. Байтик баатыра–ул. Горького, ул. Медерова – пр. Юнусалиева регулирование движения двухфазное. Правые повороты осуществляются с крайней правой полосы, левые – с третьей или крайней левой. Прямые потоки двигаются по крайней правой и средней полосам.

Пропускную способность сечений «стоп» рассчитываем по формуле

$$N_c = \eta N n (n - 1), \quad (9)$$

где n – количество полос движения в сечении «стоп»; величина коэффициента η при проведении расчетов принимается равной 1,2, получаем

$$N_c = 1,2 N n (3 - 1) = 2,4 N n. \quad (10)$$

б) На пересечении ул. Байтик баатыра – ул. Медерова регулирование четырехфазное. Ма-

невр левого поворота осуществляется в третьей и четвертой фазах, что дает возможность исключить конфликты между транспортными средствами, движущимися в разных направлениях. Правые повороты осуществляются с крайней правой полосы. Прямые потоки могут двигаться по правой и средней полосам. Пропускную способность сечения «стоп» вычисляем по формулам [2]:

$$N_c = N_{1,2} + N_3, \quad (11)$$

где $N_{1,2}$ – пропускная способность полос, отведенных для пропуска прямого и правоповоротного направлений; N_3 – пропускная способность полосы, предназначенной для левоповоротного (правоповоротного) направления.

Учитывая, что при правоповоротном движении на пересечении возможны конфликты между транспортом и пешеходами, что вызывает задержки движения транспорта по крайней правой полосе, пропускная способность сечения «стоп» определится выражениями:

$$N_{1,2} = 1,8 N n, \quad (12)$$

$$N_3 = \frac{1200 t_{зл}}{T_{ц}} = 1200 K_{фл}, \quad (13)$$

$$N_c = 1,8 N n + 1200 K_{фл}. \quad (14)$$

в) На примыкании ул. Кулатова – ул. Байтик баатыра регулирование трехфазное. В первой фазе пропускаются потоки, следующие в прямом направлении, во второй – поворотные потоки с ул. Байтик баатыра на ул. Кулатова, в третьей фазе разрешено движение поворотных потоков с ул. Кулатова. Пропускную способность улицы в сечениях «стоп» по ул. Байтик баатыра оцениваем по формуле

$$N_c = 2 N_n + 1200 K_{фл}. \quad (15)$$

Результаты расчета пропускной способности сечения «стоп» исследуемых пересечений при увеличении продолжительности цикла сведены в таблицу 2.

Таблица 2
Изменение пропускной способности в сечении «стоп» улиц, образующих пересечение,
при увеличении цикла регулирования на пересечении

Table 2

Road capacity changes on the “stop” section while increasing the regulation cycle on the intersections

Тц	tз		К		N _{пол}		% изм.		N _{сл}		% изм.		14
	гл	втор	гл	втор	гл	втор	гл	втор	гл	втор	гл	втор	
Пересечение ул.Горького – ул.Байтик баатыра													
40	17	15	0,425	0,375	510	450	-	-	1224	1080	-	-	
50	22	20	0,44	0,4	528	480	+3,5	+7	1267	1152	+3,5	+7	
60	27	25	0,45	0,417	540	500	+2	+4	1296	1200	+2	+4	
70	32	30	0,457	0,429	548	515	+2	+3	1315	1236	+2	+3	
80	37	35	0,463	0,438	556	526	+1	+2	1334	1262	+1	+2	
90	42	40	0,467	0,44	560	528	0	0	1344	1267	0	0	
Пересечение ул.Абдрахманова – пр.Чуй													
50	21	21	0,42	0,42	504	504	-	-	1210	1210	-	-	
60	26	26	0,43	0,43	516	516	+2	+2	1238	1238	+2	+2	
70	31	31	0,44	0,44	528	528	+2	+2	1267	1267	+2	+2	
80	36	36	0,45	0,45	540	540	+2	+2	1296	1296	+2	+2	
90	41	41	0,456	0,456	547	547	+1	+1	1313	1313	+1	+1	
Пересечение ул.Медерова – ул.Байтик баатыра													
60	22	14	0,367	0,23	440	276	-	-	952	657	-	-	
70	28	18	0,4	0,257	480	309	+9	+12	1001	693	+5	+5	
80	34	22	0,425	0,275	510	330	+6	+7	1038	714	+4	+3	
90	40	26	0,44	0,289	533	347	+4	+5	1066	731	+3	+2	
100	46	30	0,46	0,3	552	360	+3	+4	1090	744	+2	+1	
Пересечение ул.Медерова – пр.Юнусаалиева													
50	24	18	0,48	0,36	576	432	-	-	1382	1037	-	-	
60	30	22	0,5	0,367	600	440	+4	+2	1440	1056	+4	+2	
70	36	26	0,514	0,371	617	445	+3	+1	1481	1068	+3	+1	
80	42	30	0,525	0,375	630	450	+2	+1	1512	1080	+2	+1	
90	48	34	0,53	0,378	640	453	+1,6	+0,7	1536	1087	+1,6	+0,7	
Пересечение ул.Кулатова – ул.Байтик баатыра													
60	29	15	0,48	0,25	580	300	-	-	1204	540	-	-	
70	35	19	0,5	0,27	600	325	+3	+8	1217	586	+1	+8	
80	41	23	0,51	0,287	615	345	+2	+6	1227	621	+1	+6	
90	47	27	0,52	0,3	627	360	+2	+4	1235	648	+1	+4	
100	53	31	0,53	0,31	636	372	+1	+3	1240	670	0	+3	

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

Пересечение пр.Айтматова - ул.Айни												
50	25	17	0,5	0,34	600	408	-	-	1440	653	-	-
60	31	21	0,517	0,35	624	420	+4	+2	1498	672	+4	+3
70	37	25	0,529	0,357	634	428	+2	+2	1522	684	+2	+2
80	43	29	0,538	0,362	645	435	+2	+2	1548	696	+2	+2
90	49	33	0,544	0,367	653	440	+1	+1	1567	704	+1	+1



Пропускную способность регулируемого пересечения можно рассчитать по формуле

$$N_Y = \sum_{i=1}^d N_{СЛ}, \quad (16)$$

где d – количество подходов к пересечению, $N_{СЛ}$ – пропускная способность проезжей части в сечении стоп-линий улиц, составляющих пересечение.

Таблица 3
Изменение пропускной способности пересечения при увеличении цикла регулирования

Table 3
Road capacity changes of intersections while increasing the regulation cycle

Т _ц	N _с		N пере сечения	% изменения пропускной способности пересечения
	Главная	второстепенная		
Пересечение ул. Горького – ул. Байтик баатыра				
50	1267	1152	4838	
60	1296	1200	4992	+3
80	1334	1262	5192	+7
Пересечение ул. Абдрахманова – пр. Чуй				
50	1210	1210	4840	
60	1238	1238	4952	+2
80	1296	1296	5184	+7
Пересечение ул. Медерова – ул. Байтик баатыра				
60	952	657	3218	
70	1001	693	3388	+5
90	1066	731	3594	+12
Пересечение ул. Медерова – пр. Юнусалиева				
50	1382	1037	4838	
60	1440	1056	4992	+3
80	1512	1080	5184	+7
Пересечение ул. Кулатова – ул. Байтик баатыра				
60	1204	540	3488	
70	1217	586	3606	+3
90	1235	648	3766	+8
Пересечение пр. Айтматова – ул. Айни				
50	1440	653	4186	
60	1498	672	4340	+4
80	1548	696	4488	+7

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе эксперимента изучены условия движения на городских регулируемых пересечениях, загруженных транспортными и пешеходными потоками в светлое время суток в период с 8⁰⁰ до 19⁰⁰ ч. Согласно результатам проведенного расчета, повышение продолжительности цикла регулирования до 80 секунд с одновременным увеличением времени горения разрешающего сигнала светофора по наиболее загруженному направлению позволяет увеличить пофазный коэффициент и, как следствие, повысить пропускную способность полосы движения в сечении «Стоп» и всего пересечения в целом (таблицы 2, 3) независимо от количества фаз регулирования на перекрестке¹² [6]. При дальнейшем увеличении цикла регулирования процент повышения пропускной способности снижается.

В целом анализ данных таблиц 2 и 3 позволяет сделать следующие выводы [7, 8, 9, 10]:

1. Улучшение условий пропуска транспортных средств через регулируемые пересечения в одном уровне в условиях плотных транспортных потоков возможно при введении оптимизированного цикла регулирования движением и эффективном использовании имеющейся дорожной сети (нанесение разметки несимметричных перекрестков).

2. На пересечениях магистральных улиц рост пропускной способности в сечении стоп-линии отмечается при увеличении продолжительности цикла до 80 с. При дальнейшем росте продолжительности цикла эффект снижается, а очереди автомобилей увеличиваются.

3. Увеличение продолжительности цикла регулирования на 10 с позволяет получить повышение пропускной способности пересечения на 2 – 4%, а увеличение цикла до 30 с позволяет повысить пропускную способность пересечения на 7 – 12%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Исаков К., Стасенко Л.Н., Алтыбаев А.Ш., Турдубек уулу А. Повышение пропускной способности регулируемых пересечений посредством изменения цикла светофорного регулирования // Вестник КГУСТА. 2016. № 1. С. 313 – 320.
- Исаков К., Стасенко Л.Н., Бузурманкулова Ж. Зависимость образования заторов

от интенсивности и числа полос движения // Вестник КГУСТА. 2015. № 2(48). С.38–44.

3. Исаков К., Стасенко Л.Н., Джумашева Э. Анализ пересечений улиц города Бишкек с учетом интенсивности движения транспортных средств и источники образования заторов // Вестник КГУСТА. 2014. №1(43). С. 5 –10. <http://elibrary.ru/item.asp?id=24282340>

4. Алтыбаев А.Ш., Исаков К., Дуйшебаев С.С. История развития городов и анализ причин возникновения транспортных заторов на улицах г. Бишкек // Вестник КГУСТА. 2014. № 3(45), I том. С. 80–83.

5. Исаков К., Стасенко Л.Н., Сталбекова Э.Б. Цикл светофорного регулирования и пропускная способность регулируемых пересечений // Вестник КГУСТА. 2018. № 61(3). С.5–12.

6. Копытова Ю. В. Методы повышения пропускной способности дорог // Молодой ученый. 2018. №5. С. 196–197.

7. Стасенко Л.Н., Орозаккунова Б.У., Замирова Г.З. Возможности повышения пропускной способности пересечений в одном уровне // Вестник КГУСТА. 2017. № 1(55). С.13–18.

8. Стасенко Л.Н., Сурапов А.К., Куланбаев Т.Б. Повышение пропускной способности городских пересечений на примере пересечения улиц Байтик баатыра – И.Ахунбаева // Инженер. 2015. Вып. № 10. С. 123–129.

9. Сурапов А.К., Стасенко Л.Н., Замирова Г.З. Совершенствование организации движения на пересечениях путем перераспределения транспортных потоков // Вестник НГУ. 2016. № 4. С. 148–152.

10. Аширова С.Р., Шемякин А.В. Исследование параметров работы регулируемого пересечения средствами видеонаблюдения // Молодой ученый. 2017. № 11.3. С. 3–5.

REFERENCES

- Isakov K., Stasenko L.N., Altybaev A.SH., Turdubek uulu A. Povyshenie propusknosti reguliruemykh peresechenij posredstvom izmeneniya cikla svetofornogo regulirovaniya [Increase in capacity of adjustable traverses by means of change of the traffi light regulation cycle]. *Vestnik KGUSTA*, 2016; 1: 313–320 (in Russian).
- Isakov K., Stasenko L.N., Buzurmankulova ZH. Zavisimost' obrazovaniya zatorov ot intensivnosti i chisla polos dvizheniya [Dependence of formation of traffi blocks on intensity and number of lanes]. *Vestnik KGUSTA*, 2015; 2(48): 38–44 (in Russian).

¹²Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения. М. : Транспорт, 2001. 247 с.

3. Isakov K., Stasenko L.N., Dzhumasheva E. Analiz peresechenij ulic goroda Bishkek s uchetom intensivnosti dvizheniya transportnyh sredstv i istochniki obrazovaniya zatorov [Analysis of traverses of Bishkek streets taking into account intensity of the vehicles movement and sources of the traffi blocks formation]. *Vestnik KGUSTA*, 2014; 1(43): 5–10 (in Russian).

4. Altybaev A.Sh., Isakov K., Dujshebaev S.S. Istoriya razvitiya gorodov i analiz prichin voznikoveniya transportnyh zatorov na ulicah g.Bishkek [History of development of the cities and the analysis of the causes of transport traffi blocks on Bishkek streets]. *Vestnik KGUSTA*, 2014; 3(45.1): 80–83 (in Russian).

5. Isakov K., Stasenko L.N., Stalbekova E.B. Cikel svetoformnogo regulirovaniya i propusknaya sposobnost' reguliruemyh peresechenij [Cycle of traffi light regulation and capacity of adjustable intersections]. *Vestnik KGUSTA*, 2018; 61(3): 5–12 (in Russian).

6. Kopytova YU.V. Metody povysheniya propusknaj sposobnosti dorog [Methods of increase road capacity]. *Molodoj uchenyj*, 2018; 5: 196–197 (in Russian).

7. Stasenko L.N., Orozakkunova B.U., Zamirova G.Z. Vozmozhnosti povysheniya propusknaj sposobnosti peresechenij v odnom urovne [Possibilities of increase in capacity of intersection at grades]. *Vestnik KGUSTA*, 2017; 1(55): 13–18 (in Russian).

8. Stasenko L.N., Surapov A.K., Kulanbaev T.B. Povysenie propusknaj sposobnosti gorodskih peresechenij na primere peresecheniya ulic Bajtik baatyra- I.Ahunbaeva [Increase in capacity of city traverses on the example of traverse of Baytik Batyra-I. Akhunbayeva]. *Inzhener* 2015; 10: 123–129 (in Russian).

9. Surapov A.K., Stasenko L.N., Zamirova G.Z. Sovershenstvovanie organizacii dvizheniya na peresecheniyah putem pereraspredeleniya transportnyh potokov [Improvement of the organization of the movement on traverses by redistribution of traffi flows]. *Vestnik NGU*, 2016; 4: 148–152 (in Russian).

10. Ashirova S.R., SHemyakin A.V. Issledovanie parametrov raboty reguliruemogo peresecheniya sredstvami videonablyudeniya [Probe of operation parameters of adjustable traverse by means of video surveillance]. *Molodoj uchenyj*, 2017; 11.3: 3–5 (in Russian).

Поступила 04.03.2019, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Исаков Куттубек – канд. техн. наук, и.о.проф. заведующий кафедрой «Организация перевозок и безопасность движения», Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им.Н. Исанова, ORCID 0000-0002-2156-1929, (720020, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул.Малдыбаева, 34,б, e-mail: kuttubek.isakov.59@mail.ru).

Стасенко Л.Н. – доц. кафедры «Организация перевозок и безопасность движения», Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им.Н.Исанова, ORCID 0000-0002-1256-6146 (720020, Кыргызская Республика, г.Бишкек, ул.Малдыбаева, 34,б).

Алтыбаев А.Ш. – канд. техн. наук, и.о.доцента кафедры «Организация перевозок и безопасность движения», Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им.Н. Исанова, ORCID 0000-0003-3351-4377 (720020, Кыргызская Республика, г.Бишкек, ул.Малдыбаева, 34,б, e-mail: amanjazu@gmail.com)

Дайырбекова Д. – магистрант кафедры «Организация перевозок и безопасность движения», Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им.Н. Исанова (720020, Кыргызская Республика, г.Бишкек, ул.Малдыбаева, 34,б).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Isakov K. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cargo and Traffic Safety Organization, Kyrgyz State University of Construction, Transportation and Architecture named after N.Isanov, ORCID 0000-0002-2156-1929 (720020, Kyrgyz Republic, Bishkek, 34-b Malydyaev St., e-mail: kuttubek.isakov.59@mail.ru).

Stasenko L.N. – Docent, Kyrgyz State University of Construction, Transportation and Architecture named after N.Isanov, ORCID 0000-0002-1256-6146 (720020, Kyrgyz Republic, Bishkek, 34-b Malydyaev St.).

Altybaev A.Sh. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cargo and Traffic Safety Organization Kyrgyz

State University of Construction, Transportation and Architecture named after N.Isanov, ORCID 0000-0003-3351-4377 (720020, Kyrgyz Republic, Bishkek Bishkek, 34-b Malydybaev St., e-mail: amanjazu@gmail.com).

Daiyrbekova D. – Undergraduate of the Department of Cargo and Traffic Safety Organization Kyrgyz State University of Construction, Transportation and Architecture named after N. Isanov (720020, Kyrgyz Republic, Bishkek, 34-b Malydybaev St.).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Исаков Куттубек – определение и обоснование проблемы, выявление методов решения поставленной проблемы.

Стасенко Л.Н. – решение проблемы с использованием предложенных методов.

Алтыбаев А.Ш. – автоматизация процессов, уличная работы.

Дайырбекова Д. – сбор информации.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Isakov K. – definition and justification of the problem, identifying methods for solving the problem.

Stasenko L.N. – solving problems using the proposed methods.

Altybaev A.Sh. – automation and outdoor work.

Daiyrbekova D. – information collection.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМЕЩЕНИЙ СЫПУЧЕГО ГРУЗА НА ИЗМЕНЕНИЕ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТА

Е.Р. Кирколуп*, И.В. Харламов

ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия
*kirkolup@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Изменения законодательства в области эксплуатации автомобильных дорог и правил грузоперевозок привели к необходимости учета максимальных осевых нагрузок, возникающих при грузоперевозках. В частности, эта задача актуальна при перевозке сыпучих грузов, так как при торможении или разгоне грузовых автомобилей (автопоездов), при движении по продольному уклону или при движении на поворотах может произойти смещение части груза относительно осей автомобиля. В статье приведены результаты экспериментального исследования смещений сыпучего груза (гравия, щебня) при перевозках и их влияния на изменение осевых нагрузок грузового автотранспорта.

Материалы и методы. В ходе исследования измеряли уровень сыпучего груза в полуприцепе автопоезда до и после эксперимента, производили поосное взвешивание и взвешивание полной массы автопоезда, дополнительно проводили видеосъемку смещений сыпучего груза.

Результаты. Проводя анализ экспериментальных данных поосного взвешивания, установили, что при перевозке сыпучих грузов происходит его перераспределение внутри полуприцепа, а это в свою очередь приводит к изменению осевых нагрузок автопоезда. Изменения осевых нагрузок лежали за пределами погрешности измерения и составляли от 1,4 до 4,9%. Еще одним доказательством смещения сыпучего груза в полуприцепе послужила видеосъемка груза в процессе его перевозки. Анализ видеозаписей показал, что и щебень, и гравий смещаются в полуприцепе в моменты ускоренного движения автопоезда.

Обсуждение и заключение. В результате выполненной работы получено экспериментальное подтверждение того, что сыпучий груз при перевозках смещается относительно бортов полуприцепа в моменты торможения и это смещение приводит к изменению осевых нагрузок грузового автотранспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нагрузка на ось, угол естественного откоса, сыпучий груз, поосное взвешивание, торможение.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы статьи выражают глубокую благодарность директору ООО «БГПК» Э.В. Колерту за оказанное содействие в проведении эксперимента по перевозке сыпучих грузов, в частности за предоставление грузового автотранспорта и материалов, и директору департамента экономического развития Алтайской торгово-промышленной палаты Ю.В. Пономаревой за организацию поосного весового контроля при проведении эксперимента и экспертизу полученных результатов.

© Е.Р. Кирколуп, И.В. Харламов



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE FRIABLE LOAD OFFSETS' EFFECT ON THE VEHICLES' AXIAL CARGO CHANGING

E.R. Kirkolup¹, I.V. Kharlamov^{1}*

*¹ Altai State Technical University named after I.I. Polzunov,
Barnaul, Russia*

**kirkolup@mail.ru*

ABSTRACT

Introduction. Law changes concerning road service and cargo traffic rules lead to the necessity of maximal axel load calculating during the cargo transportation. Such problem is particularly important while friable cargo transporting, as accelerating or breaking cargoes (road-trains) at a longitude inclination or turning could provoke partial lading shift towards the cargo axles. The paper demonstrates the results of friable cargo offset experimental research (grail, broken stone) while transporting. Moreover, the authors also describe influence of the friable cargo offsets on freight transport axle load changing.

Materials and methods. The research measured friable cargo level in the road-train semitrailer before and after the experiment, axle weighting and the full mass weighting. In addition, the authors made video filming of friable cargo offsets.

Results. Analyzing the experimental data of axial weighting, the authors noted that during the friable cargo transportation, the cargo was redistributed inside the semitrailer and such process led to a change in axial loads of the road-train. The axel load changing was not included into the measurement accuracy and was about 1,4 – 4,9%. Another argument of the friable cargo shift inside the semitrailer was cargo video filming while transporting. Video analysis showed that both chip stone and gravel was moving inside the semitrailer while the road-train accelerated motion.

Discussion and conclusions. As a result, the research proves the experimental verification of the friable cargo offset over the semitrailer ramps while braking. Such offsets lead to the changing of freight transport axle load.

KEYWORDS: *axle load, natural angle of repose, friable cargo, axle weighting, braking.*

ACKNOWLEDGEMENTS. *The authors express their gratitude to E.V. Kolert for the assistance in conducting the bulk cargo transportation experiment, in particular for providing trucks and materials. The authors are also grateful to Yu.V. Ponomareva for organizing the post-axial weight control during the experiment and for the examination of obtained results.*

© E.R. Kirkolup, I.V. Kharlamov



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Изменения законодательства в области эксплуатации автомобильных дорог и правил грузоперевозок^{1, 2} привели к необходимости учета максимальных осевых нагрузок, возникающих при грузоперевозках. В частности, эта задача актуальна при перевозке сыпучих грузов, так как при торможении или разгоне грузовых автомобилей (автопоездов), при движении по продольному уклону или при движении на поворотах может произойти смещение части груза относительно осей автомобиля. Это в свою очередь может привести к изменению осевых нагрузок грузового автомобиля [1, 2]. Данная проблема остро стоит перед перевозчиками и мало исследована в научной литературе. Имеющиеся публикации рассматривают в основном колебательное движение системы «автомобиль–груз», которое возникает при торможении, разгоне с учетом неравномерного профиля дорожного полотна [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], и его влияние на опоры мостов [11] либо транспортировку жидкостей автоцистернами [12, 13], а также проблемы перевозки сыпучих грузов железнодорожным [14, 15, 16] или водным транспортом [17, 18]. В данной статье приведено экспериментальное исследование влияния смещений сыпучего груза (гравия, щебня), происходящих в моменты торможения, на изменение осевых нагрузок автотранспорта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исследуемого объекта был рассмотрен седельный трехосный тягач с трехосным полуприцепом. Перед проведением экспериментального исследования необходимо было определить параметры перевозимого сыпучего груза, а именно определить его угол естественного откоса, по значению которого можно судить о подвижности груза. Для этого на ровную горизонтальную поверхность (фанерный лист площадью ~1 м²) устанавливали цилиндр высотой 1 м с внутренним диаметром $d = 152$ мм и насыпали в него исследуемый сыпучий материал. Затем медленно поднима-

ли цилиндр, давая материалу свободно высыпаться на горизонтальную поверхность (рисунок 1). Далее измеряли диаметр основания D и высоту h получившегося конуса и определяли угол естественного откоса по формуле

$$\alpha' = \arctg \frac{2h}{D-d}. \quad (1)$$

Испытания проводили три раза для каждого материала: из двух отдельных проб и третьей, приготовленной после усреднения первых двух.

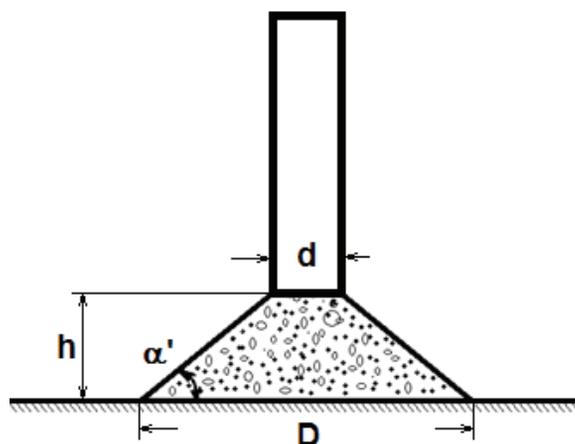


Рисунок 1 – Схема определения угла естественного откоса

Figure 1 – Scheme of natural angle of repose determination

Далее производили засыпку груза в два одинаковых полуприцепа. В первый засыпали щебень фракцией 5–20 мм и массой 24,52 т, во второй – гравий фракцией 5–20 мм массой 25,96 т. Затем производили взвешивание полной массы каждого автопоезда. После этого в пункте первого поосного взвешивания проводили замер уровня груза в полуприцепе. Уровень груза в полуприцепе измеряли с помощью рулетки с точностью ± 1 см вдоль бортов, начиная с передней части правого борта, через интервалы в 1 м от верхней точки до поверхности груза. При этом уровень груза не

¹ Постановление Правительства РФ от 09.01.2014 № 12 (ред. от 18.05.2015) О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам перевозки тяжеловесных грузов по автомобильным дорогам Российской Федерации // Официальный интернет-портал правовой информации : <http://www.pravo.gov.ru>. 13.01.2014; Собрание законодательства РФ. 20.01.2014. № 3. ст. 281.

² Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 07.06.2017). Ст. 12.21.1. Нарушение правил движения тяжеловесного и (или) крупногабаритного транспортного средства (в ред. Федерального закона от 13.07.2015 № 248-ФЗ) // Российская газета. № 256. 31.12.2001 ; Парламентская газета. № 2-5. 05.01.2002 ; Собрание законодательства РФ. 07.01.2002. № 1 (ч. 1). ст. 1.

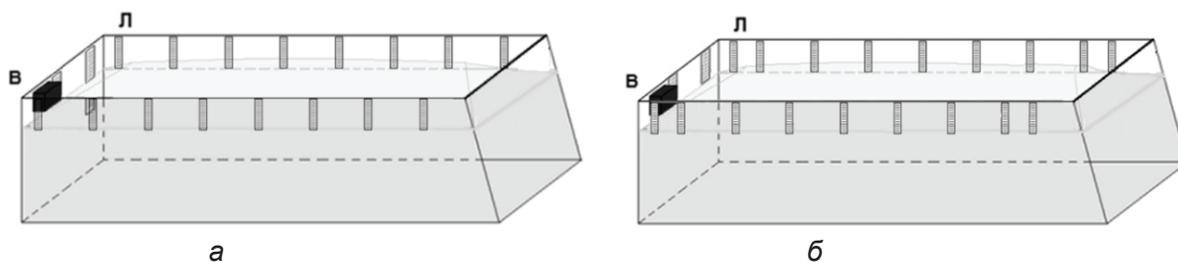


Рисунок 2 – Схема измерения и фиксации уровня груза (а – щебня, б – гравия) в полуприцепе: В – видеокамера, Л – измерительный инструмент (рулетка)

Figure 2 – Scheme of cargo level measurement and fixing (а – chip stone, б – gravel) in the semitrailer: В – video camera, Л – measuring instrument (tapeline)

измеряли на заднем борту и дополнительно при измерении уровня засыпки гравия добавляли дополнительные точки измерения через 0,5 м по одной в передней части левого и правого бортов полуприцепа и аналогично в задней части полуприцепа (рисунок 2). Затем производили поосное взвешивание на весах EVOCAR-2000-10, погрешность которых соответствует требованиям «ГСИ. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания» ГОСТ OIML R 76-1–2011. После первого поосного взвешивания на каждый полуприцеп устанавливали видеокамеры на передний борт слева.

Далее на участках дороги с продольными уклонами, равными 2–7%, производили резкое торможение со скоростью 90 км/ч. Ускорение, возникающее при этом, оценивали по формуле

$$a = \frac{\Delta V}{t}, \quad (2)$$

где ΔV – изменение скорости автопоезда, t – время, в течение которого осуществлялось торможение.

Дополнительно определяли коэффициент трения при торможении для системы автопоезда «асфальтобетонное покрытие дороги» по формуле

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha + \left(a + \frac{F_c}{m} \right) \cdot \frac{1}{g \cdot \cos \alpha}, \quad (3)$$

где α – продольный уклон дороги (в градусах), a – ускорение автопоезда в момент торможения, $0,5 \cdot C_x \cdot \rho S \Delta V_1^2$ – сила сопротивления воздуха, $C_x = 0,8$ – коэффициент аэродинамического сопротивления для грузовиков данного типа, $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха, S – площадь фронтальной проекции автопоезда,

m – полная масса автопоезда, g – ускорение свободного падения.

После торможения производили второе поосное взвешивание каждого автопоезда и измеряли уровень груза в полуприцепах. Кроме того, фиксировали смещение груза в полуприцепах по видеозаписям с видеокамер. Видеофиксацию смещения сыпучего груза в полуприцепе проводили с помощью видеокамер GoPro в период движения автопоезда от первого пункта весового контроля до второго пункта весового контроля.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Измерение угла естественного откоса показало, что оба груза обладают высоким внутренним трением и соответственно низкой подвижностью частиц груза. Рассчитанные по формуле (1) значения угла естественного откоса для щебня и гравия в пределах погрешности измерения соответствуют данным, приведенным в СНиП 2.05.07–91* и СП 22.13330.2011, и составили для щебня $45^\circ \pm 5^\circ$ и для гравия $42^\circ \pm 4^\circ$. Отметим, что подвижность груза оценивали исходя из условия

$$a \geq g \cdot \operatorname{tg} \alpha', \quad (4)$$

где a – ускорение сыпучего груза в полуприцепе, g – ускорение свободного падения.

Условие (4) показывает, что для того чтобы груз начал смещаться, необходимо преодолеть внутреннее трение между частицами, которое определяется углом естественного откоса сыпучего груза. При таких значениях угла естественного откоса смещение сыпучего груза следовало ожидать только при больших ускорениях автопоезда (не менее 5 м/с^2), которые можно было достичь при резком торможении или при торможении в случае движения вниз под продольный уклон дороги [1].

Экспериментальные данные и рассчитанные по формулам (2) и (3) значения ускорения автопоезда и коэффициента трения в момент торможения приведены в таблице 1. Полученные значения свидетельствуют о том, что в эксперименте были соблюдены условия, указанные в теоретическом расчете [1], то есть в теоретическом расчете были использованы значения ускорения в момент торможения для автопоезда от 5 до 7 м/с², а коэффициент трения скольжения для резины и сухого асфальта брали равным 0,75, руководствуясь тем, что его минимальное значение не должно быть меньше того значения, которое определили по классу сцепления шин с мокрой поверхностью дороги европейской маркировки шин (С, Е) [19, 20]. Существенным наблюдением из данного эксперимента являлись небольшие заносы автопоезда в моменты торможения, если ускорение автопоезда превышало значения 8 м/с², на это обстоятельство было указано в теоретическом расчете.

Экспериментальные данные по определению уровня щебня и гравия в полуприцепах показали незначительные изменения уровня груза в каждом полуприцепе, лишь в некоторых точках была заметна разница между уровнями груза до и после торможения. В основном смещение груза происходило в сторону правого и переднего бортов. Так, например, в полуприцепе со щебнем уровень груза у правого и переднего бортов изменился на 3 см, а в полуприцепе с гравием в некоторых точках у правого борта уровень изменился на 5–11 см. В остальных точках изменения уровня груза были незначительными и лежали в пределах погрешности измерения. Такие изменения уровня щебня и гравия в полуприцепах объяс-

няются неравномерной погрузкой, после которой часть груза была смещена к левому борту каждого полуприцепа. Следует отметить, что выравнивание поверхности груза в полуприцепах сразу после погрузки не проводили, так как стояла задача максимально приблизить эксперимент к реальным грузоперевозкам. Поэтому по результатам измерения уровня груза можно делать только качественную оценку о смещении груза.

Результаты взвешивания полной массы и поосного взвешивания автопоезда до и после эксперимента приведены в таблице 2, даны показания 12 весов EVOCAR, установленных под каждое колесо автопоезда в процессе измерения осевой нагрузки, и данные весового контроля, полученные по стандартной методике, используемой при определении превышений транспортным средством допустимой массы и установленных ограничений по нагрузке на ось. Отметим, что при взвешивании отсчет осей проводили от кабины автопоезда.

Из анализа экспериментальных данных, приведенных в таблице 2, видно, что при перевозке сыпучих грузов происходит его перераспределение внутри полуприцепа, а это в свою очередь приводит к изменению осевых нагрузок автопоезда. Так, к примеру, при перевозке щебня по данным весового контроля, изменение осевой нагрузки автопоезда до и после эксперимента на осях 2, 3, 5 и 6 превысили погрешность, которая была допущена при поосном взвешивании автопоезда с щебнем и не превосходила 1,2%, и составили 1,4, 1,7, 3,3 и 1,4%. Отметим, что наиболее существенным оказалось изменение осевой нагрузки на 5-й оси.

Таблица 1
Данные эксперимента по измерению ускорения автопоезда и коэффициента трения в момент торможения

Table 1
Experimental data while the road-train accelerating and breaking index of friction measurement

Место торможения	Груз	Уклон α , %	Ускорение a , м/с ²	Коэффициент трения μ
Участок 1	Щебень 5-20	7	5,0	0,62
Участок 2	Гравий 5-20	5,6	8,3	0,91
Участок 1	Гравий 5-20	7	6,1	0,69
Участок 3	Гравий 5-20	2	9,3	0,97
Участок 4	Гравий 5-20	4	8,0	0,85

Таблица 2
Данные эксперимента по взвешиванию полной массы и поосного взвешивания автопоезда

Table 2

Experimental data while the road-train gross vehicle weight and axel weight measurement

Тип взвешивания	Объект	Ось 1, кг	Ось 2, кг	Ось 3, кг	Ось 4, кг	Ось 5, кг	Ось 6, кг
Полной массы	автопоезд пустой	18 040					
	груз щебень 5-20	24 520					
	Суммарная масса	42 560					
Поосное до эксперимента	Правое колесо	3230	3980	3590	3860	3920	3710
	Левое колесо	3260	3170	3170	3930	3470	3290
	Суммарная масса	6490	7150	6760	7790	7390	7000
		42 580					
Поосное после эксперимента	Правое колесо	3140	3700	3680	3780	3660	3680
	Левое колесо	3280	3500	3200	3860	3580	3420
	Суммарная масса	6420	7200	6880	7640	7240	7100
		42 480					
% изменения	Правое колесо	-2,9	-7,6	2,4	-2,1	-7,1	-0,8
	Левое колесо	0,6	9,4	0,9	-1,8	3,1	3,8
	Осевая нагрузка	-1,1	0,7	1,7	-2,0	-2,1	1,4
Весовой контроль, поосное до эксперимента	Осевая нагрузка	6440	7120	6740	7520	7520	7080
	Погрешность	80	80	80	80	80	80
	Суммарная масса	42420 ± 480					
Весовой контроль, поосное после эксперимента	Осевая нагрузка	6420	7220	6860	7500	7280	7180
	Погрешность	80	80	80	80	80	80
	Суммарная масса	42460 ± 480					
% изменения	Осевая нагрузка	-0,3	1,4	1,7	-0,3	-3,3	1,4
Полной массы	Автопоезд пустой	17 520					
	Груз гравий 5-20	25 960					
	Суммарная масса	43 480					
Поосное до эксперимента	Правое колесо	3250	3560	3370	3890	3870	3570
	Левое колесо	3340	3350	2980	4100	3870	4080
	Суммарная масса	6590	6910	6350	7990	7740	7650
		43 230					
Поосное после эксперимента	Правое колесо	3320	3210	3180	3850	3560	3450
	Левое колесо	3480	3770	3090	4150	3890	4150
	Суммарная масса	6800	6980	6270	8000	7450	7600
		43 100					
% изменения	Правое колесо	2,1	-10,9	-6,0	-1,0	-8,7	-3,5
	Левое колесо	4,0	11,1	3,6	1,2	0,5	1,7
	Осевая нагрузка	3,1	1,0	-1,3	0,1	-3,9	-0,7
Весовой контроль, поосное до эксперимента	Осевая нагрузка	6640	6920	6280	7960	7760	7700
	Погрешность	80	80	70	100	80	100
	Суммарная масса	43260 ± 510					
Весовой контроль, поосное после эксперимента	Осевая нагрузка	6800	6980	6280	7980	7400	7540
	Погрешность	80	80	80	100	80	100
	Суммарная масса	42980 ± 520					
% изменения	Осевая нагрузка	2,4	0,9	0,0	0,3	-4,9	-2,2

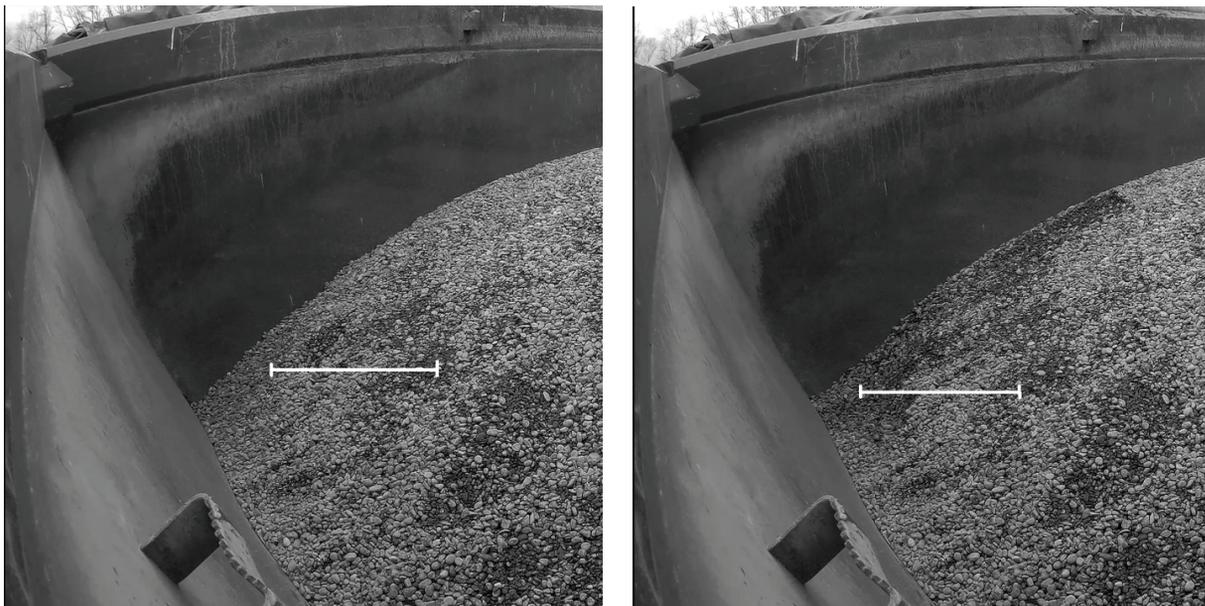


Рисунок 3 – Кадры видеосъемки, сделанные с интервалом в 2 с

Figure 3 – Video filming with 2 seconds apart

При перевозке гравия в ходе эксперимента с торможением также произошли изменения осевой нагрузки. Она заметно изменилась на осях 1, 5 и 6 на 2,4, 4,9 и 2,2%. При этом максимальная погрешность поосного взвешивания автопоезда с гравием не превосходила 1,3%. Если сравнить процент изменения нагрузки на каждое колесо до и после эксперимента, то видим, что у автопоезда со щебнем у половины колес нагрузка изменилась более чем на 2% и в некоторых случаях достигала 9,4% (левое колесо на 2-й оси). У автопоезда с гравием процент изменения нагрузки превзошел значение 2% на 8-ми колесах и так же, как и в первом случае, на левом колесе 2-й оси наблюдалось максимальное изменение – 11,1%.

Еще одним доказательством смещения сыпучего груза в полуприцепе послужила видеосъемка груза в процессе его перевозки. Анализ видеозаписей показал, что и щебень, и гравий смещаются в полуприцепе в моменты ускоренного движения автопоезда. Изменение положения частиц груза в полуприцепе хорошо видно на кадрах (рисунок 3), сделанных с одной из видеозаписей с интервалом в 2 с.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного эксперимента можно заключить следующее:

1. Сыпучие грузы, в частности щебень и гравий, смещаются в полуприцепе во время перевозки, о чем свидетельствуют результаты

эксперимента по измерению уровня груза в полуприцепе и видеофиксация моментов смещения.

2. Смещение сыпучего груза в полуприцепе приводит к изменению осевых нагрузок автопоезда, о чем свидетельствуют экспериментальные данные, полученные в результате весового контроля, проведенного в соответствии со стандартной методикой, используемой при определении превышений транспортным средством допустимой массы и установленных ограничений по нагрузке на ось.

Исходя из полученных результатов видно, что при перевозке сыпучих грузов будут происходить его смещения относительно бортов полуприцепа даже в случае перевозки сыпучих материалов с высоким внутренним трением между частицами (щебня, гравия). Если же говорить о перевозке сыпучих материалов с малым внутренним трением между частицами (пшеницы, овса, сухого песка и др.), то следует ожидать больших смещений в моменты кинематических возмущений, связанных с торможением, поворотами автопоезда, неровным профилем дорожного полотна и т.д. Поэтому чтобы избежать осевых перегрузок из-за смещений сыпучих грузов, необходимо принимать меры по уменьшению его подвижности. Например, производить выравнивание поверхности сыпучего груза внутри полуприцепа и при перевозке не допускать резкой смены режимов движения, либо предусмотреть прижимное

устройство для груза, либо установить в кузов автомобиля специальные диафрагмы по аналогии с цистернами для перевозки жидкостей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирколуп Е.Р., Харламов И.В., Шайдук А.М. Оценка влияния смещений сыпучих материалов на изменение осевых нагрузок, возникающих при кинематическом воздействии в процессе грузоперевозок // Ползуновский альманах. 2018. № 1. С. 101–108.
2. Абдюшев А.А., Юманов В.А. Определение нагрузок на транспортное средство от динамического воздействия грузов при экстренном торможении // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2 (20). С. 280–288.
3. Taghavifar H., Mardani A. Off-roa vehicle dynamics. Springer. 2017. 183 p. DOI 10.1007/978-3-319-42520-7.
4. Sun Lu. An overview of a unified theory of dynamics of vehicle-pavement interaction under moving and stochastic load // Journal of Modern Transportation. 2013. Vol. 21. No. 3. P. 135-162 DOI 10.1007/s40534-013-0017-8.
5. Jin Yanfei, Luo Xuan. Stochastic optimal active control of a half-car nonlinear suspension under random road excitation // Nonlinear Dynamics. 2013. Vol. 72. No. 1. P. 185-195 DOI 10.1007/s11071-012-0702-x.
6. Гриднев С.Ю., Будковой А.Н. Оценка динамического воздействия автомобиля на путь при торможении и разгоне с учетом кинематического возмущения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 4. С. 409–415.
7. Мазур В.В. Математическая модель динамики масс автотранспортного средства с повреждённой пневматической шиной при торможении на неровной дороге // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 2 (2). С. 36–38.
8. Мазур В.В. Математическая модель динамики автомобиля при торможении на неровной дороге // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 4. С. 42–45.
9. Мазур В.В. Математическая модель силового баланса автомобиля при движении по дороге с неровным микропрофилем // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 3. С. 29–32.
10. Sharp R.S., Crolla D.A. Road vehicle suspension system design – a review // International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility. 1987. V. 16. No. 3. P. 167-192. DOI 10.1080/00423118708968877.
11. Кадисов Г.М., Чернышов В.В. Конечно-элементное моделирование динамики мостов при воздействии подвижной нагрузки // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 9 (44). С. 56–63.
12. Гриднев С.Ю., Будковой А.Н. Моделирование совместных колебаний пролетных строений и автоцистерн с частично наполненными жидкостью кузовами при переходных режимах движения // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 3 (15). С. 103–110.
13. Гриднев С.Ю., Будковой А.Н. Использование механического аналога жидкости для моделирования колебаний автоцистерны при разгоне и торможении // Научный журнал строительства и архитектуры. 2011. № 1. С. 98–106.
14. Shvets A.O. Influence of the longitudinal and transverse displacement of the cargo gravity center in gondola cars on their dynamic indicators // Наука та прогрес транспорту. 2018. № 5 (77). С. 115–128.
15. Путьто А.В., Соколовский А.И. Нагруженность торцевой стены полувагона при изменении когезионных свойств сыпучего груза // Актуальные вопросы машиноведения. 2016. Т. 5. С. 191–194.
16. Путьто А.В., Белогуб В.В. Методы моделирования и расчетные схемы нагруженности кузовов вагонов при перевозке сыпучих грузов // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. 2007. № 1. С. 45–53.
17. Бухарицин П.И., Беззубиков Л.Г. Устройство для предотвращения смещения грузов в трюме и сохранения плавучести судна // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 3. С. 179–180.
18. Маликова Т.Е. Применение теории катастроф для классификации сценариев потери остойчивости судна при смещении груза // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2014. № 3 (25). С. 15–19.
19. K. Jeon, Y. Yoo, J. Lee, D. Jung Laboratory Alignment Procedure for Improving Reproducibility of Tyre Wet Grip Measurement // International Journal of Automotive Technology. 2016. Vol. 17. No. 3. pp. 457–463. DOI 10.1007/s12239-016-0047-4.
20. Regulation (EC) No 1222/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameters.

REFERENCES

1. Kirkolup E.R., KHarlamov I.V., SHajduk A.M. Otsenka vliyaniya smeshhenij sypuchikh materialov na izmenenie osevykh nagruzok, voznikayushhikh pri kinematcheskom vozdeystvii v protsesse gruzoperevozok [Assessment of the shifts impact of bulks on change of the axial loads arising at kinematic influence in the course of cargo transportation]. *Polzunovskij al'manakh*, 2018, no 1, pp. 101–108 (in Russian).
2. Abdyushev A.A., YUmanov V.A. Opre-delenie nagruzok na transportnoe sredstvo ot dinamicheskogo vozdeystviya gruzov pri ehkstre-nom tormozhenii [Definition of vehicle loads of the from dynamic influence of freights at emergency brake application]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo univer-siteta*, 2012, no 2 (20), pp. 280–288 (in Russian).
3. Taghavifar H., Mardani A. Off-roa-vehicle dynamics. Springer. 2017. 183 p. DOI 10.1007/978-3-319-42520-7.
4. Sun Lu. An overview of a unified theory of dynamics of vehicle-pavement interaction under moving and stochastic load // *Journal of Modern Transportation*. 2013. Vol. 21. No. 3. P. 135-162 DOI 10.1007/s40534-013-0017-8.
5. Jin Yanfei, Luo Xuan. Stochastic optimal active control of a half-car nonlinear suspension under random road excitation // *Nonlinear Dynamics*. 2013. Vol. 72. No. 1. pp. 185–195 DOI 10.1007/s11071-012-0702-x.
6. Gridnev S.YU., Budkovej A.N. Otsenka dinamicheskogo vozdeystviya avtomobilya na put' pri tormozhenii i razgone s uchetom kinematcheskogo vozmushheniya [Assessment of dynamic influence of the car on the way during the braking and dispersal, taking into account kinematic indig-nation]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2012, no 4, pp. 409–415 (in Russian).
7. Mazur V.V. Matematicheskaya model' dinamiki mass avtotranspornogo sredstva s povrezhdyonnoj pnevmaticheskoy shinoj pri tormozhenii na nerovnoj doroge [Mathematical model of the car dynamics while braking on the uneven road]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2009, no 2 (2), pp. 36–38 (in Russian).
8. Mazur V.V. Matematicheskaya model' dinamiki avtomobilya pri tormozhenii na nerovnoj doroge [Mathematical model of the car power balance at movement along the road with uneven micro-cross-section]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2009, no 4, pp. 42–45 (in Russian).
9. Mazur V.V. Matematicheskaya model' silovogo balansa avtomobilya pri dvizhenii po doroge s nerovnym mikroprofilom [Mathematical model of power balance of the car power balance at movement along the road with uneven micro-cross-section]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 2009, no 3, pp. 29–32 (in Russian).
10. Sharp R.S., Crolla D.A. Road vehicle suspension system design – a review // *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. 1987. V. 16. No. 3. pp. 167–192. DOI 10.1080/00423118708968877.
11. Kadisov G.M., CHernyshov V.V. Konechno-ehlementnoe modelirovanie dinamiki mostov pri vozdeystvii podvizhnoj nagruzki [Final and element modeling of the bridges' dynamics at influence of the mobile loading]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, 2013, no 9 (44), pp. 56–63 (in Russian).
12. Gridnev S.YU., Budkovej A.N. Modelirovanie sovместnykh kolebanij proletnykh stroenij i avtotsistem s chastichno napolnennymi zhidkost'yu kuzovami pri perekhodnykh rezhimakh dvizheniya [Modeling of joint fluctuations of flying buildings and tanker trucks with the bodies which are partially filled with liquid at transient states of the movement]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2009, no 3 (15), pp. 103–110 (in Russian).
13. Gridnev S.YU., Budkovej A.N. Is-pol'zovanie mekhanicheskogo analoga zhidkosti dlya modelirovaniya kolebanij avtotsisterny pri razgone i tormozhenii [Use of a mechanical fluid analogue for modeling tank truck oscillations during acceleration and deceleration]. *Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arkhitektury*, 2011, no 1, pp. 98–106.
14. Shvets A.O. Influence of the longitudinal and transverse displacement of the cargo gravity center in gondola cars on their dynamic indicators. *Nauka ta progres transport*, 2018, no 5 (77), pp. 115–128.
15. Putyato A.V., Sokolovskij A.I. Nagruzhennost' tortsevoj steny poluvagona pri izmenenii kogeziionnykh svoystv sypuchego gruza [Loading of semi track at change of cohesive properties of loose freight]. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya*, 2016, Vol. 5, pp. 191–194 (in Russian).
16. Putyato A.V., Belogub V.V. Metody modelirovaniya i raschetnye skhemy nagruzhennosti kuzovov vagonov pri perevozke sypuchikh gruzov [Methods of modeling and settlement schemes of loading of cars in transit loose freights]. *Mekhanika. Nauchnye issledovaniya i uchebno-metodicheskie razrabotki*, 2007, no 1, pp. 45–53 (in Russian).

17. Bukharitsin P.I., Bezzubikov L.G. *Ustrojstvo dlya predotvrashheniya smeshheniya gruzov v tryume i sokhraneniya plavuchesti sudna* [Device for prevention of freights' shift in a hold and maintaining buoyancy of the vessel]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2014, no 3, pp. 179–180 (in Russian).

18. Malikova T.E. *Primenenie teorii katastrof dlya klassifikatsii stsenarijev poteri ostojchivosti sudna pri smeshhenii gruza* [Application of the accidents' theory for classification of the scenarios for stability loss of the vessel at freight shift]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova*, 2014, no 3 (25), pp. 15–19 (in Russian).

19. K. Jeon, Y. Yoo, J. Lee, D. Jung *Laboratory Alignment Procedure for Improving Reproducibility of Tyre Wet Grip Measurement* // *International Journal of Automotive Technology*. 2016. Vol. 17. No. 3. pp. 457–463. DOI 10.1007/s12239-016-0047-4.

20. Regulation (EC) No 1222/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameter

Поступила 06.03.2019, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кирколуп Евгений Романович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные конструкции», ORCID 0000-0003-4782-6507, ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: kirkolup@mail.ru.

Харламов Иван Викентьевич – канд. техн. наук, проф. кафедры «Строительные конструкции», ORCID 0000-0002-2607-5380, ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: hiv@mail.altstu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kirkolup Evgenij Romanovich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Building Structure Department, ORCID 0000-0003-4782-6507, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov (656038, Barnaul, 46 Lenin Ave., e-mail: kirkolup@mail.ru).

Kharlamov Ivan Vikentevich – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Building Structure Department, ORCID 0000-0002-2607-5380, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov (656038, Barnaul, 46 Lenin Ave., e-mail: hiv@mail.altstu.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Кирколуп Е.Р. – постановка эксперимента, обработка и оформление результатов эксперимента, анализ результатов эксперимента, анализ источников, формирование статьи.

Харламов И.В. – постановка задачи, анализ результатов эксперимента, формулировка выводов, редактирование статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Kirkolup E.R. – setting up of the experiment; results' calculation; experimental results' analysis; references analysis; paper writing.

Kharlamov I.V. – setting up of the experimental objectives; experimental results' analysis; conclusions' formulation; paper editing.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ RAMP METERING НА ДВУХУРОВНЕВЫХ РАЗВЯЗКАХ

А.Н. Новиков¹, И.А. Новиков², А.Г. Шевцова^{2*}, А.Г. Бурлуцкая²

¹Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева,
г. Орел, Россия;

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия

*shevcova-anastasiya@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена исследованию метода повышения пропускной способности на транспортных развязках, обеспечивающих въезд в города, на примере г. Белгорода путем внедрения системы светофорного регулирования Ramp metering. Исследованы 4 транспортные развязки на подъездах в областной центр, проведена оценка геометрических параметров съездов. На основании анализа геометрических параметров, расчетов параметров интенсивности и временных задержек выбран оптимальный участок для внедрения системы Ramp metering.

Методы и материалы. Основное внимание уделено использованию интеллектуальных транспортных систем при организации движения в города и городские агломерации. Применение данных систем на транспортных развязках позволяет минимизировать задержки транспортных средств, что является достаточно актуальным методом организации дорожного движения в пиковые периоды и способствует снижению аварийности за счет использования интеллектуального аппарата управления движением транспортных потоков.

Результаты. Авторами разработан подход к использованию интеллектуальных транспортных систем на въездных участках в города и городские агломерации с учетом изменения основных параметров транспортного потока и геометрических параметров транспортных развязок.

Заключение. Сделан вывод о необходимости использования интеллектуальных транспортных систем путем внедрения системы Ramp metering, а также исследования изменения основных параметров транспортного потока и геометрических характеристик городских транспортных развязок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: организация дорожного движения, транспортная развязка, светофорное регулирование, Ramp metering, интенсивность.

© А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова, А.Г. Бурлуцкая



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

USE OF THE RAMP METERING SYSTEM AT TWO-LEVEL JUNCTIONS

A.N. Novikov¹, I.A. Novikov², A.G. Shevtsova^{2*}, A.G. Burlutskaya²

¹Orel State University named after I. S. Turgeneva,
Orel, Russia

²Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhova,
Belgorod, Russia

*shevcova-anastasiya@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The paper describes the method of increasing the capacity of transport interchanges, providing entry into the city, on the example of Belgorod and through the introduction of traffic light control system - Ramp metering. The authors investigate 4 transport interchanges at the entrances to the regional center and evaluate geometric parameters of the congresses. Moreover, the authors select the optimal site for the implementation of the Ramp measuring system, basing on the analysis of geometric parameters and calculations of intensity parameters and time delays.

Methods and materials. The use of intelligent transport systems in cities and urban agglomerations traffic management allows minimizing vehicles delays and such method is quite topical for traffic organization at peak times and reduction of accidents through the use of intelligent machine control of the vehicle flows.

Results. The authors develop the approach to the intelligent transport systems' usage at the entrance areas to the cities and urban agglomerations, which takes into account changes in the basic parameters of traffic flow and geometric parameters of transport interchanges.

Conclusion. As a result, it is necessary to use intelligent transport systems through the introduction of Ramp measuring system, as well as through the study of changes in the basic parameters of traffic flow and geometric characteristics of urban transport interchanges

KEYWORDS: traffic management, traffic interchange, traffic light regulation, Ramp metering, intensity

© A.N. Novikov, I.A. Novikov, A.G. Shevtsova, A.G. Burlutskaya



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Возникновение заторов на транспортных развязках при въездах в город является распространенной ситуацией, особенно в часы пик. Пропускная способность участков дорожной сети значительно уменьшается. Сегодня с целью улучшения транспортных процессов используются различного рода продукты моделирования и происходит внедрение интеллектуальных транспортных систем^{1 2} [1, 2]. Необходимо осуществлять воздействие на транспортный поток, управляя съездами, при помощи технических средств организации движения (светофорное регулирование, дорожные знаки, ТПИ), с целью регулирования количества транспортных средств, въезжающих на автомагистраль или покидающих ее [3, 4].

Методы управления съездами призваны поддерживать баланс между пропускной способностью автомагистрали и спросом на нее путем поддержания оптимального функционирования автомагистрали. Управление съездами применяется в целях регулирования проезда по конкретной рампе, к примеру ввод частичного ограничения на проезд (по расписанию) или, возможно, постоянного ограничения. Данная мера регулирования в значительной мере снижает или даже в автомагистраль. С другой стороны, управление съездами обеспечивает плавное слияние потоков в конфликтных точках. Управление съездами влияет на характер движения транспортных средств, вливающих в поток. Методы управления съездами используют для упорядочивания темпа, с которым автомобили въезжают на магистраль.

Различают 4 стратегии управления съездами:

- ограничение доступа на съезд: временный или постоянный;
- управление съездами при помощи светофорного объекта (Ramp metering) [5, 6, 7, 8];
- создание приоритетов движения особой группы автомобилей;
- организация управления очередями транспортных средств на рампе.

Стратегия светофорного управления съездами хорошо зарекомендовала себя на транспортных развязках и на въездах в города. Наличие светофорного объекта оптимально

поддерживает параметры движения на съезде для более плавного и беспрепятственного слияния потоков. Достигается это путем равномерно сменяющихся фаз регулирования и очередности пропуска транспортных средств со съезда. Регулирование съезда также обеспечивает разбивание плотных групп автотранспортных средств, которые приближаются к автострате, на отдельные автомобили, позволяя тем самым избегать беспорядка в точках слияния.

Управление съездами при помощи светофорного объекта Ramp metering – «система контроля въезда на автостраду» – является эффективным методом организации дорожного движения во многих странах мира. Применяется данная система на двухуровневых развязках в условиях, когда менее интенсивный поток транспортных средств покидает по поворотному съезду одну магистраль и пытается вклиниться в движение на другой магистрали.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Белгородской области уровень автомобилизации можно сравнить с уровнем Московской области (314 против 347)³, учитывая тот факт, что общая протяженность дорог в Белгородской области меньше в 3 раза⁴. На крупных городских магистралях в часы пик производительность улично-дорожной сети (УДС) значительно снижается на отдельных участках, такими участками, как правило, являются магистрали, ведущие из пригородных зон в центр города, где самый высокий спрос. В целях увеличения производительности дорожной сети на въезды в городах организуют двухуровневые развязки с рамповыми съездами. С целью увеличения пропускной способности в г. Белгороде планируется внедрение системы Ramp metering на двухуровневых развязках при въездах в город.

На подъездах к областному центру имеются 4 двухуровневые транспортные развязки с улицами, ведущими в город (рисунок 1):

- 1) полноклеверная развязка в п. Разумное;
- 2) полноклеверная развязка в микрорайоне Новосадовый;
- 3) трубовидная развязка в п. Северный;
- 4) полноклеверная развязка на пересечении трассы М-2 Крым и безымянной дороги.

¹ Витвицкий Е.Е. Моделирование транспортных процессов : учебное пособие. Омск, 2017.

² Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы : учебное пособие. М., 2016.

³ Официальный сайт ГИБДД. Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/>

⁴ Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport/

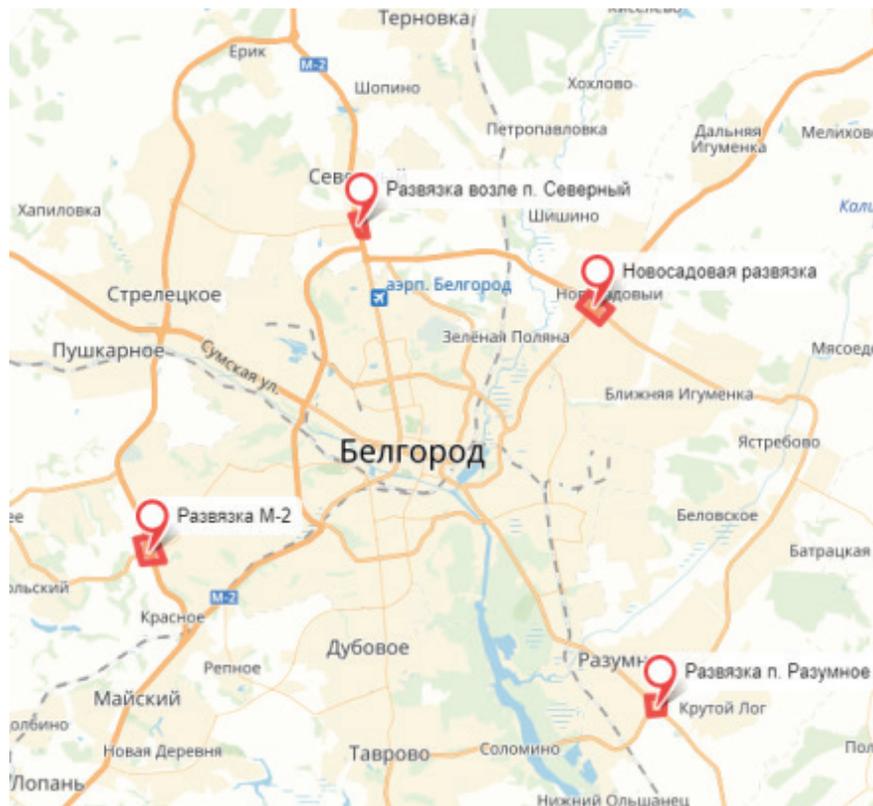


Рисунок 1 – Локализация исследуемых участков

Figure 1 – Localization of the research areas

Для целесообразного внедрения предлагаемого метода организации движения Ramp metering на исследуемых участках в первую очередь необходимо оценить геометрические параметры рассматриваемых съездов и сравнить эти параметры с рекомендуемыми.

К основным геометрическим критериям относятся:

- 1) радиус кривизны поворота, м;
- 2) вместимость рампы, авт.;
- 3) протяженность дистанции разгона, м;
- 4) дистанция слияния потоков, м;
- 5) ширина проезжей части в точке слияния рампы и автомагистрали, м.

Рассмотрим геометрические параметры каждого из исследуемых участков. Развязка в п. Разумное сконструирована по типу клеверного листа (рисунок 2). Развязка в микрорайоне Новосадовый также имеет конфигурацию полного клеверного листа (рисунок 3).

Развязка в п. Разумное имеет 2 съезда, ведущих в город, на которых теоретически можно разместить светофорное регулирование. Ширина внешней рампы в точке слияния – 3,5 м, внутренней – 4,8 м. Кривизна съездов, ве-

дущих в сторону ул. Корочанская и далее в город: внешнего – 600 м, клеверного листа – 50 м. Протяженность внешнего правоповоротного съезда составляет 470 м, а клеверного листа – 255 м. Это значит, что теоретически максимальное количество легковых автотранспортных средств, которые могут содержаться в пределах съезда, составляет 94 и 55 единиц соответственно. Протяженность дистанции разгона клеверного листа – 130 м, внешнего съезда – 200 м. Протяженность дистанции слияния внешнего съезда – 90 м, клеверного листа – 100.

Развязка в микрорайоне Новосадовый имеет 2 съезда, ведущих в город. Радиус кривизны клеверного листа составляет 50 м, длина окружности – 212 м. Таким образом, вместимость клеверного листа приблизительно 42 легковых автомобиля. Протяженность дистанции разгона на клеверном листе крайне мала – 33 м. Радиус кривизны внешнего съезда составляет примерно 1100 м, протяженность съезда – 576 м, следовательно, вместимость съезда будет 115 легковых автомобилей. Протяженность дистанции разгона составляет 75 м.



Рисунок 2 – Полноклеверная развязка в п. Разумное
Figure 2 – Cloverleaf interchange in Razumnoe



Рисунок 3 – Полноклеверная развязка в микрорайоне Новосадовый
Figure 3 – Cloverleaf junction in Novosadov district



Рисунок 4 – Трубовидная развязка в п. Северный
Figure 4 – Tube junction in Severny



Рисунок 5 – Клеверная развязка с трассой М-2
Figure 5 – Cloverleaf junction with the M-2 route

Ширина внешней ramпы в точке слияния – 4,6 м, внутренней – 4,8 м.

Третья развязка, ведущая в город, – трубовидная развязка в п. Северный (рисунок 4). Четвертая исследуемая транспортная развязка, обеспечивающая пересечение трассы М-2 и автомобильной дороги, ведущей в город, относится к развязкам клеверного типа (рисунок 5).

На развязке в п. Северный пересекаются четырехполосная шоссе и двухполосная автодорога. В город ведёт один рамповый съезд. Его ширина составляет 3,6 м, радиус кривизны – 260 м, протяженность – 230 м. Данный участок обладает достаточно длинной дистанцией разгона – 200 м. Рампа способна

вместить приблизительно 46 автомобилей. В пределах съезда имеется пешеходный переход, но данный участок не характеризуется высоким пешеходным потоком. Рампа имеет ответвление, которое ведёт на парковку промышленного парка и далее, после окончания парковки дорога снова вливается в основной поток на трассу.

На клеверной развязке с трассой М-2 в город ведут два съезда. Радиус кривизны клеверного листа – 60 м, длина окружности – 292 м. Клеверный лист способен содержать очередь из 58 автомобилей. Дистанция для разгона на выходе с ramпы небольшая – всего около 40 м. Кривизна внешнего съезда состав-

ляет около 1000 м. Протяженность рампы – 400 м, что позволяет вместить 80 легковых автомобилей. Протяженность дистанции разгона – около 200 м. Ширина внешней и внутренней рампы – 3,5 м.

Так как в Российской Федерации регулирование съездов методом Ramp metering не применяется, нормативных документов и требований к ней не существует. Воспользуемся рекомендациями и источниками зарубежных стран по геометрии рампы для комфортного слияния потоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Используя рекомендации зарубежных специалистов, входные рампы можно разделить на 2 вида: 1 – с конусообразной полосой слияния; 2 – с обустроенной параллельной переходно-скоростной полосой (рисунок 6) [9, 10, 11].

Согласно анализу зарубежных исследований, установлено, что к каждому типу вводных рампы предъявляются свои требования. Для реализации системы Ramp metering необходимыми для исследования характеристиками являются: ширина проезжей части, дистанция разгона, дистанция слияния потоков, радиус кривизны и протяженность рампы [5, 6, 7]. На основании рекомендованных показателей, по-

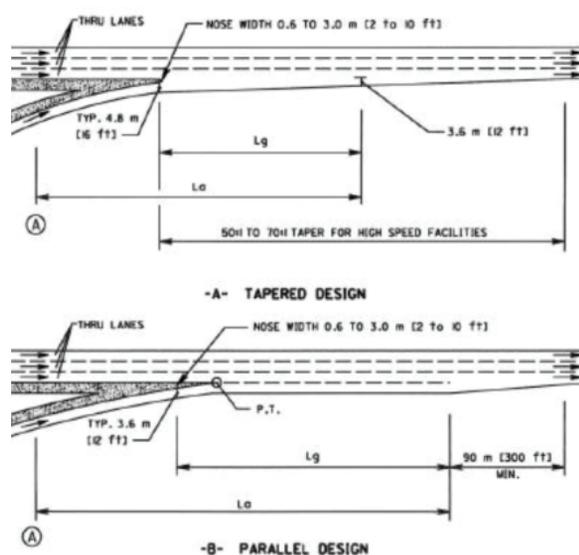


Рисунок 6 – Тип входных рамп: А – конусообразная; В – параллельная

Figure 6 – Input ramp type: A – cone-shaped; B – parallel

лученных по результатам исследования профессора Mike McDonald [6], будет проводиться оценка пригодности исследуемых участков для реализации в их границах системы Ramp metering. Сведем геометрические характеристики и параметры рампы в таблицу 1 и сравним их с рекомендуемыми параметрами.

Таблица 1
Сравнение геометрических параметров рампы с рекомендуемыми

Table 1
Comparison of the geometric ramp parameters with the recommended ones

Транспортная развязка	Рассматриваемый съезд и его тип	Характеристики				
		Ширина проезжей части, м	Дистанция разгона, м	Дистанция слияния потоков, м	Радиус кривизны, м	Протяженность рампы, м
		Рекомендуемые				
		4,8/3,6	60-200	90-150	≥300	-
П. Разумное	Внешний конусообразный	3,5	200	90	600	470
	Внутренний параллельный	4,8	130	100	50	255
Мкр. Новосадовый	Внешний конусообразный	4,6	75	-	1100	576
	Внутренний конусообразный	4,5	33	-	50	212
П. Северный	Внешний параллельный	3,6	200	150	260	230
Развязка с М-2	Внешний параллельный	3,5	200	150	1000	400
	Внутренний конусообразный	3,5	40	-	60	292

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

Красным цветом отмечены параметры, которые отклоняются более 5% от рекомендательных показателей [6]. В колонке с рекомендуемым значением ширины проезжей части в числителе указаны значения для рампы с полосой слияния конусного типа, а в знаменателе – для параллельного. Диапазон рекомендуемой дистанции разгона выбран исходя из возможности для водителя разогнаться с неподвижно го состояния до скоростей 30–60 км/ч. Специалисты США рекомендуют устраивать рампы так, чтобы радиус кривизны составлял не менее 300 м [6]. Связано это с тенденцией водителей игнорировать полосу разгона и въезжать в основной поток в нежелательном месте. В России для плавного слияния полос устраивают переходные кривые. Поэтому небольшое несоответствие радиуса кривизны рекомендуемому значению не является критичным. Пригодность длины рампы на данном этапе трудно оценить, т.к. она зависит от интенсивности движения и необходимой дистанции разгона.

Сравнив геометрические параметры рампы каждого из участков, пришли к выводу, что внутренние рампы на развязках клеверного типа мало пригодны для реализации данной системы из-за слишком крутых поворотов и маленькой дистанции для разгона транспортных средств. Внешние съезды обладают большим радиусом кривизны, являются более вместительными и располагают, как правило, длинной полосой для разгона (свыше 100 м), что соответствует рекомендациям. Клеверная развязка с трассой М-2 соответствует большинству остальных требований, однако важным показателем является интенсивность движения в пределах транспортной развязки. Развязка в п. Северный расположена ближе к городу, чем развязка с М-2. Кроме этого, автомагистраль переходит в одну из самых крупных и важных центральных улиц города – пр. Богдана Хмельницкого. Её радиус кривизны ниже рекомендуемого на 14%, но это не является критичным недостатком. Рампа обладает достаточно длинной и удобной параллельной полосой разгона. Кроме этого, на ней гораздо проще организовать исследование параметров транспортного потока. Таким образом, наиболее оптимальным участком для введения системы светофорного регулирования является трубчатая развязка в п. Северный.

При помощи натурных исследований определим такие параметры, как интенсивность транспортного потока и временные задержки. Необходимо определить пиковые значения интенсивности движения в сторону областного центра в исследуемых пунктах участка дорожной сети (рисунок 7).

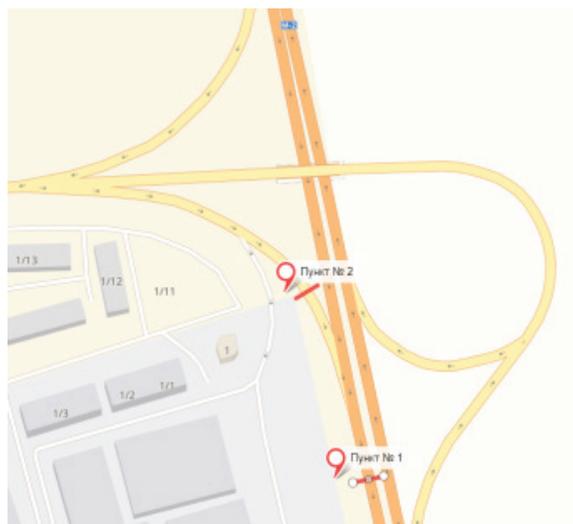


Рисунок 7 – Схема расположения стационарных пунктов на трубчатой развязке в п. Северный

Figure 7 – Scheme of the stationary point's location on the tube junction in Severny

На стационарных постах исследовали интенсивность движения по 6-минутным интервалам в течение часа с целью определения уровня загрузки на автомагистрали, в пункте №1 – на подъезде к пересечению с рампой (рисунок 8), в пункте №2 – интенсивность на рампе (рисунок 9).

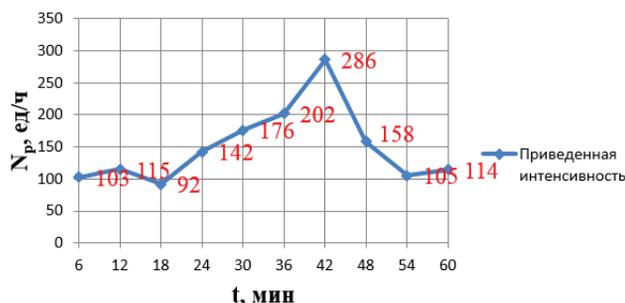


Рисунок 8 – Приведенная интенсивность в час пик на автомагистрали на выходе из зоны пересечения

Figure 8 – Intensity on the intersection exit of the motorway while rush hour

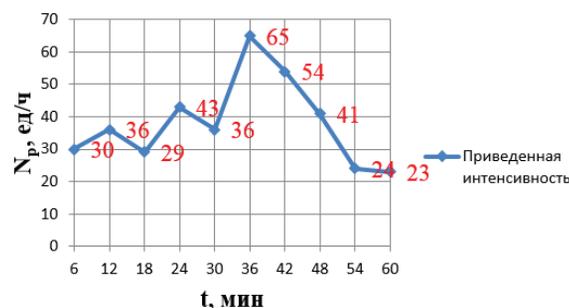


Рисунок 9 – Приведенная интенсивность в час пик на рампе

Figure 9 – Intensity on the ramp while rush hour

Чтобы оценить пропускную способность, исследуемый участок магистрали поделим на две зоны (рисунок 10). Первая зона L_1 расположена перед пересечением съезда и магистрали, вторая L_2 – на выходе из зоны пересечения. Предполагается, что в зоне пересечения пропускная способность снижается.

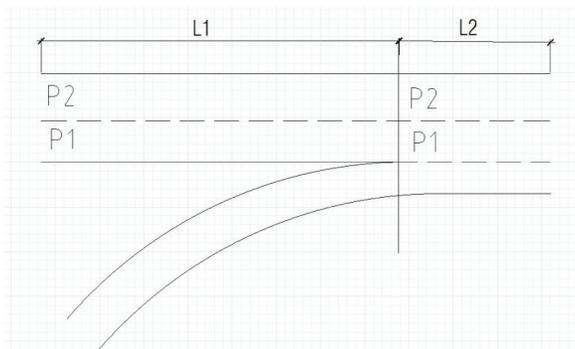


Рисунок 10 – Схема участка автомобильной дороги

Figure 10 – Road section scheme

В качестве исходных данных возьмем магистральную улицу с дорогой II категории по 2 полосы в каждую сторону движения, продольные уклоны и кривые в плане отсутствуют, доля маршрутного транспорта в общем потоке приблизительно 0,03, ширина остановочной полосы на участке L_1 соответствует нормам ВСН (не менее 2,5 м)⁵. На участке L_2 происходит сужение остановочной полосы, сопряжение съезда и магистральной улицы оборудовано переходно-скоростной полосой без разделительной полосы. Предполагается, что съезд не влияет на пропускную способность участка L_1 . Согласно рекомендациям ОДМ 218.2.020–2012⁶, оценку пропускной способности четырехполосной дороги следует проводить отдельно по каждой полосе, т.к. распределение потока по полосам неравномерное.

Суммарная пропускная способность

$$P_{\text{общ}}^L = P_1^L + P_2^L, \quad (1)$$

где $P_{\text{общ}}^L$ – общая пропускная способность, авт./ч; P_1^L – пропускная способность на правой полосе на участке L , авт./ч; P_2^L – пропускная способность на левой полосе на участке L , авт./ч.

Пропускная способность на отдельной полосе — это произведение максимальной пропускной способности идеального потока насыщения и частных коэффициентов

$$P^L = P_{\text{max}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4 \cdot \beta_5, \quad (2)$$

где P_{max} – максимальная пропускная способность полосы движения, легковых авт./ч; β_1 – коэффициент, характеризующий влияние планировки транспортных развязок; β_2 – коэффициент, учитывающий величину радиуса кривой в плане; β_3 – коэффициент, учитывающий продольный уклон и длину подъема; β_4 – коэффициент, учитывающий наличие остановочной полосы; β_5 – коэффициент, учитывающий интенсивность маршрутного транспорта.

Оценим пропускную способность участка L_1 , значение P_{max} принимается согласно рекомендательным таблицам ОДМ⁷ и равно 2200 легковых авт./ч. Следовательно, пропускная способность полос и суммарное значение будут составлять

$$P_1^{L1} = 2200 \cdot 0,88 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1936 \text{ авт./ч;}$$

$$P_2^{L1} = 2200 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2156 \text{ авт./ч;}$$

$$P_{\text{общ}}^{L1} = 1980 + 2178 = 4092 \text{ авт./ч.}$$

Проведём аналогичные расчёты для участка L_2 :

$$P_1^{L2} = 2200 \cdot 0,83 \cdot 0,95 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot 1 = 1595 \text{ авт./ч;}$$

$$P_2^{L2} = 2200 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1881 \text{ авт./ч;}$$

$$P_{\text{общ}}^{L2} = 1595 + 1881 = 3476 \text{ авт./ч.}$$

Выразим пропускную способность в физических единицах по формуле

$$P_{\Phi} = \frac{P_{\text{общ}}^L}{\sum_1^j (f_{cj} \cdot n_j)}, \quad (3)$$

где f_{cj} – коэффициент приведения для j -го типа транспортного средства; n_j – количество транспортных средств j -го типа, выраженное в долях единицы.

⁵ ВСН 103–74. Технические указания по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог.

⁶ ОДМ 218.2.020–2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог.

⁷ Там же.

Учитывая, что состав транспортного потока меняется на участках L_1 и L_2 незначительно, а грузовой транспорт практически не встречается, получаем

$$P_{\Phi}^{L1} = \frac{4092}{\sum_1^j(0,95 \cdot 1 + 0,05 \cdot 3)} = 3720 \frac{\text{ед.}}{\text{ч}};$$

$$P_{\Phi}^{L2} = \frac{3476}{\sum_1^j(0,95 \cdot 1 + 0,05 \cdot 3)} = 3160 \frac{\text{ед.}}{\text{ч}}.$$

Уровень загрузки будет равен

$$Z_{L1} = \frac{1112}{3720} = 0,29;$$

$$Z_{L2} = \frac{1493}{3160} = 0,47.$$

На основании полученных результатов составим линейный график пропускной способности и коэффициента загрузки (рисунки 11,12). В зоне пересечения пропускная способность снижается на 560 ед./ч, это обусловлено потоком автомобилей, съезжающих по рампе и вливающих в транспортный поток. Уровень загрузки соответствует категории С: автомобили движутся большими группами, обгоны затруднены. Дальнейший рост интенсивности приводит к росту ДТП.

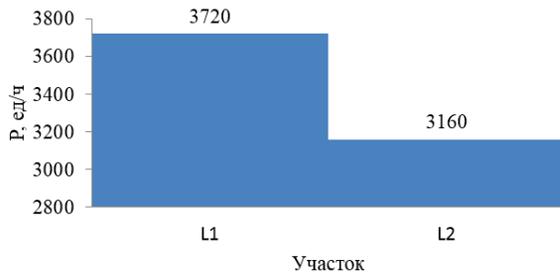


Рисунок 11 – Пропускная способность на участках L_1 и L_2

Figure 11 – Traffic capacity of the L_1 and L_2 sections

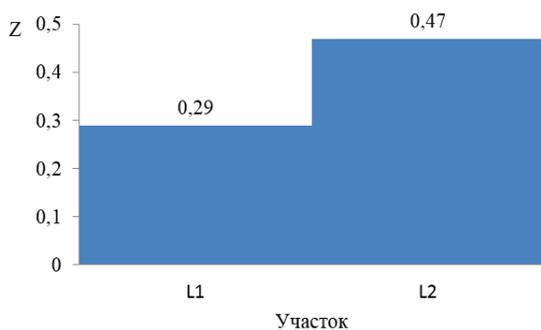


Рисунок 12 – Уровень загрузки на участках L_1 и L_2

Figure 12 – Load level of the L_1 and L_2 sections

Оценим пропускную способность на рампе по формуле

$$P_c = P_{\max} \cdot \beta, \quad (4)$$

где P_c – пропускная способность рампы, лег. авт./ч; – произведение частных коэффициентов.

Пропускная способность рампы

$$P_c = 1800 \cdot 0,96 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,91 = 792 \text{ авт./ч.}$$

С учётом незначительного числа автобусов в составе потока на рампе пропускная способность в физических единицах составит

$$P_{\Phi}^P = \frac{792}{\sum_1^j(0,97 \cdot 1 + 0,03 \cdot 2)} = 769 \text{ ед./ч.}$$

Транспортные задержки на рампе и магистральной улице оценивались по экспериментальному методу. Временные задержки в час пик на рампе и магистрали сведены в таблицу 2.

Рассчитав такие параметры, как интенсивность и временные задержки, проанализировав геометрические параметры исследуемого участка, мы пришли к выводу, что внедрение на транспортной развязке светофорного регулирования в п. Северный является одним из рациональных способов организации дорожного движения. Следующим этапом исследования является непосредственно установка системы Ramp metering на исследуемом участке УДС.

ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем внедрить систему регулирования съезда, необходимо определить алгоритм работы светофорного объекта. Для данного участка УДС подходит локальный алгоритм ALINEA, так как на участке отсутствуют иные рампы, конфигурация такой транспортной развязки не приведет к замыканию потоков и данный алгоритм является адаптивным [12]. Настроим параметры для данного алгоритма: расположение детектора транспорта на выходе из зоны слияния потоков от 40 м до 500 м; корректирующий параметр K_R ; оптимальный уровень загрузки $O_{\text{опт}}$; время цикла от 40 с до 5 мин.

Определив уровни загрузки в течение исследуемого промежутка времени, получили оптимальную загруженность $O_{\text{опт}} = 0,31$. Зная показатели приведенной интенсивности и уровень загрузки, нашли значение параметра регулирования – темп, с которым транспортные

Таблица 2
Временные задержки на рампе и магистрали

Table 2
Time delays on ramp and motorway

Время наблюдения	Число автомобилей, стоящих на данном подходе к перекрестку в указанные моменты времени, с				Общее число автомобилей, проследовавших через перекресток
	0	15	30	45	
Временные задержки на рампе					
1-я минута	10	7	5	6	28
2-я минута	0	6	11	8	16
3-я минута	9	17	16	20	4
4-я минута	17	15	18	21	4
5-я минута	19	23	20	19	2
Всего	267				54
Временные задержки на магистрали					
1-я минута	34	31	35	30	32
2-я минута	0	45	29	37	30
3-я минута	40	59	0	0	86
4-я минута	54	48	37	0	27
5-я минута	73	0	0	78	63
Всего	630				238

средства выпускаются на магистраль (таблица 3):

$$r(k) = r(k - 1) + K_R \cdot [O_{\text{опт}} - O_{k-1}], \quad (5)$$

где $r(k)$ – параметр регулирования в момент времени k , ед/мин; R_t – параметр регулирования в предыдущий момент времени $k-1$, ед/мин; K_R – корректирующий параметр регули-

рования, ед./мин; $O_{\text{опт}}$ – оптимальный уровень загрузки дороги; O_{t+1} – уровень загрузки в момент времени $t+1$.

Сниженная интенсивность движения на рампе приводит к общему снижению загрузки на магистрали. Алгоритм удерживает уровень загрузки на оптимальном уровне. Суммарная загрузка за час снизилась на 10% (рисунок 13).

Таблица 3
Параметры регулирования

Table 3
Control parameters

Промежуток времени k	Приведенная интенсивность, ед./6 мин	Существующий уровень загрузки $O_{(k-1)}$	Параметр регулирования $r(k)$, ед./6 мин
1	103	0,33	22
2	115	0,36	22
3	92	0,29	22
4	142	0,45	21
5	176	0,56	19
6	202	0,64	17
7	286	0,91	13
8	158	0,50	11
9	105	0,33	11
10	114	0,36	11

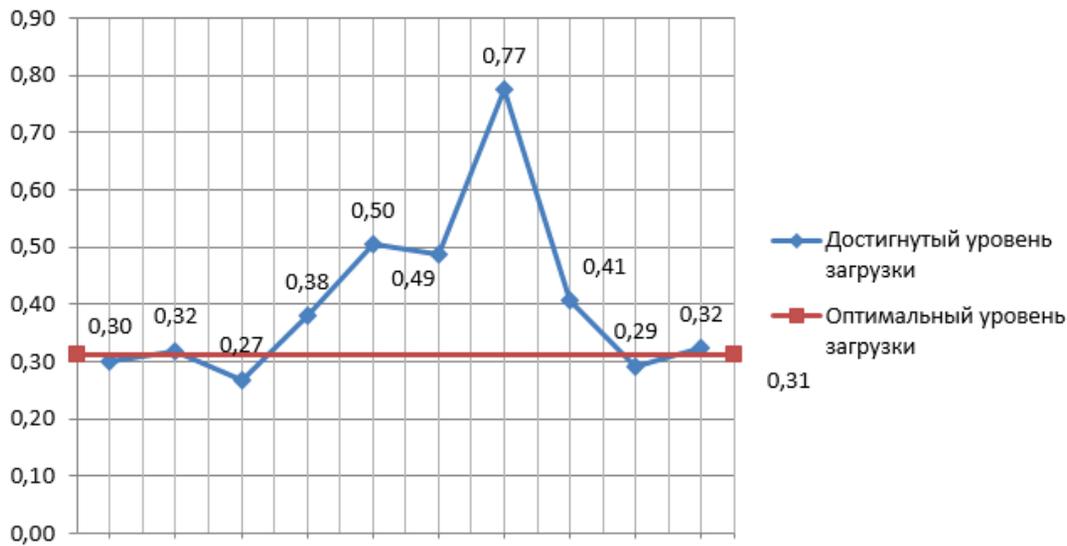


Рисунок 13 – Достигнутый и оптимальный уровни загрузки участка

Figure 13 – Achieved and optimum level of the traffic capacity

Интенсивность движения для рампы устанавливает параметр $r(k)$ на основании уровня загрузки магистрали, которая реализуется при помощи светофорного регулирования. Так как на съезде отсутствует светофорное регулирование, то примем поток насыщения S , равный пропускной способности на съезде P_c , ($S = P_c = 769$ ед/ч), а длительность зеленого сигнала светофора при длительности цикла 60 с рассчитывается по формуле

$$g = \frac{r(k)}{S} \cdot T_{\text{ц}}, \quad (6)$$

где g – длительность зеленого сигнала светофора, с; S – поток насыщения на рампе, авт/ч; $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с.

Зеленый сигнал светофора должен включаться в тот момент времени, когда в правой полосе магистрального потока образуется разрыв (рисунок 14). Для обнаружения разрывов предлагается использовать алгоритм на основании условия обеспечения двойного динамического габарита по формуле⁸

$$L_d = l_a + v_a t_p + 0,03v_a^2 + 1, \quad (7)$$

где l_a – длина автомобиля, м; v_a – скорость автомобиля, м/с; t_p – время реакции водителя, с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании всех расчетов составляется алгоритм поиска разрыва в потоке и устанавливается пропускная часть цикла регулирования (рисунок 15). Данным способом достигается разбивание группы транспортных средств на одиночные, тем самым повышая безопасность слияния потоков.

Установка данного светофорного объекта производится в соответствии с ГОСТ Р 52289–2004⁹. Шкаф контроллера следует размещать таким образом, чтобы исключить возможность столкновения с ним автомобиля, вышедшего за пределы проезжей части, а также обеспечить безопасный доступ персонала к нему. Не рекомендуется размещать шкаф в зоне между съездом и магистралью, а также на острове безопасности. Размещать детекторы

⁸ Шевцова А.Г. Совершенствование организации дорожного движения на основе рационального управления светофорным объектом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Гос. ун-т - учебно-научно-произв. комплекс. Орел, 2015.

⁹ Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 52289–2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2004 г. № 120-ст) (с изменениями и дополнениями).

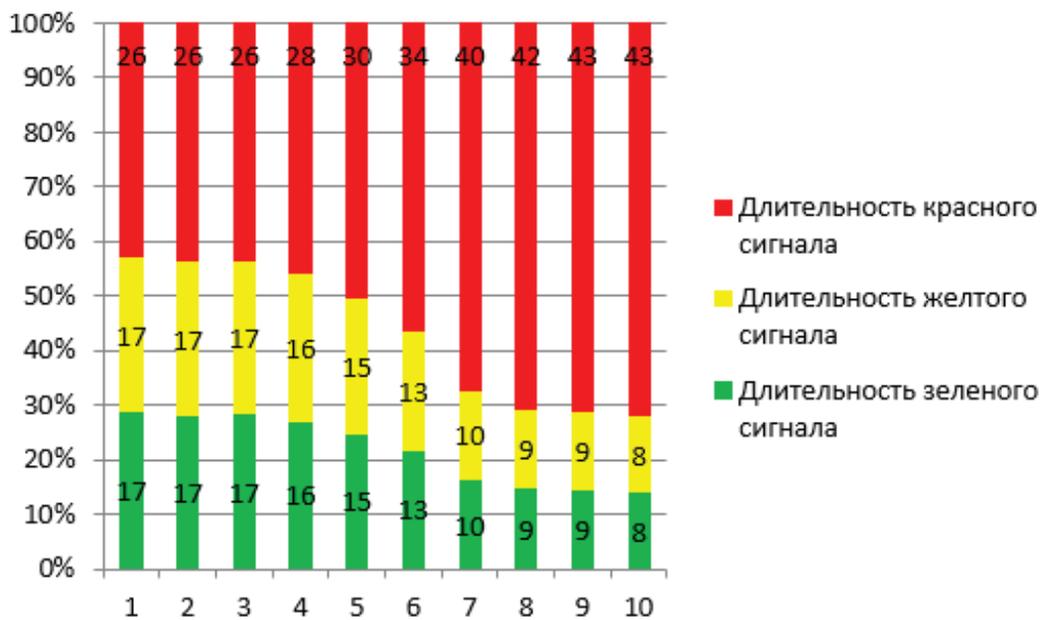


Рисунок 14 – Суммарная длительность основных тактов

Figure 14 – Total duration of the main cycles

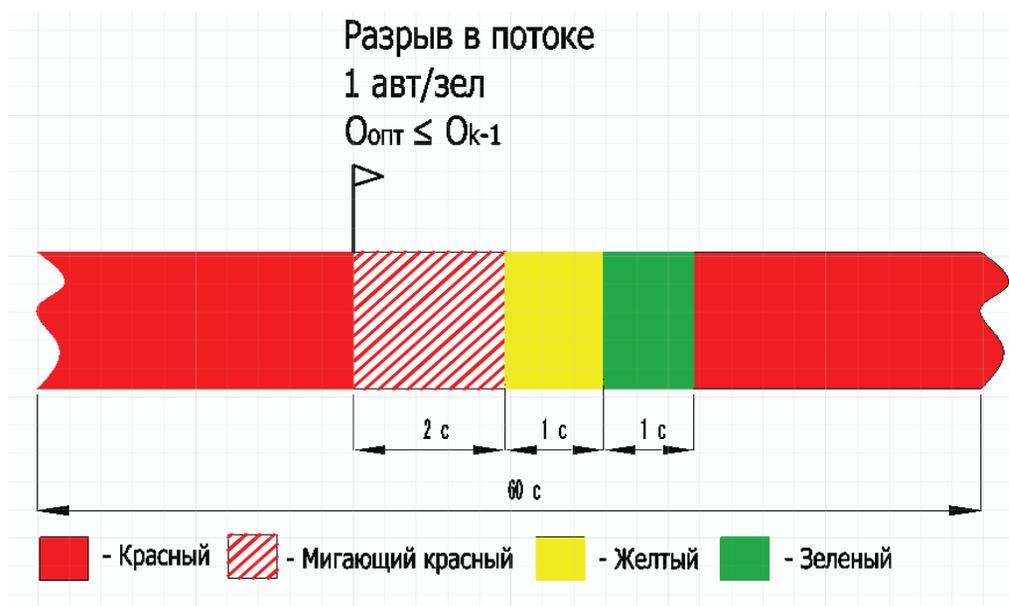


Рисунок 15 – Пропускная часть цикла регулирования

Figure 15 – Flow part of the control cycle

транспорта следует на магистральной дороге на расстоянии 40–500 м от «носа» съезда. На каждой полосе магистрали должно располагаться по 2 индуктивных детектора транспорта. Расстояние между ними должно быть 6 м от края до края.

Внедрив на участок светофорное регулирование под управлением алгоритма с обратной связью, существующая загрузка снизится на 10%. Средняя временная задержка одного транспортного средства на рампе увеличится на 27% (. В результате увеличения времени ожидания автомобилей на съезде и обеспечения их плавного слияния транспортные задержки на магистрали снизятся на 48% ().

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffi lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffi flows within intellectual transport systems (ITS) / *Transportation Research Procedia* 2017. С. 455–462.

2. Vlasov V.M., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Defin tion of perspective scheme of organization of traffi using methods of forecasting and modeling / *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 11. Сер. “International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment” 2018. С. 42–116.

3. Тур А.А., Жанказиев С.В. Практика применения дорожных информационных табло в мире // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2011. № 2 (25). С. 64–68.

4. Шевцова А.Г., Мочалина Ю.А. Обзор новых технических средств организации дорожного движения // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. 2015. Т. 2. № 2. С. 672–677.

5. Bellemans T., De Moor B., De Schutter B. Model predictive control for ramp metering of motorway traffic a case study. *Control Engineering Practice*. 2006. Т. 14. № 7. С. 757–767.

6. Zheng P., McDonald M. Evaluation of effects of ramp metering on merging operations.

Transportation Research Record. 2007. № 2012. С. 105–112.

7. Meng Q., Khoo H.L. A pareto-optimization approach for a fair ramp metering. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2010. Т. 18. № 4. С. 489–506.

8. Горелов А.М., Власов А.А. Управление въездами на автомобильных магистралях // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2015. № 1 (71). С. 15–17.

9. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffi theory. *Traffi Engineering and Control*. 2007. Т. 48, № 1. С. 28–35.

10. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffi theory - part II. *Traffi Engineering and Control*. 2007. Т. 48, № 2. С. 68–75.

11. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffi theory - part III. *Traffi Engineering and Control*. 2007. Т. 48, № 3. С. 114–120.

12. Abdel-Aty, M., Dhindsa, A., Gayah, V., 2007. Considering various ALINEA ramp metering strategies for crash risk mitigation on freeways under congested regime. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 15 (2), 113–134.

REFERENCES

1. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffi lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffi flows within intellectual transport systems (ITS) / *Transportation Research Procedia* 2017; pp. 455–462.

2. Vlasov V.M., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Defin tion of perspective scheme of organization of traffi using methods of forecasting and modeling / *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 11. “International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment” 2018; pp. 42–116.

3. Tur A.A., Zhankaziev S.V. Praktika primenenija dorozhnyh informacionnyh tablo v mire [The practice of using road signs in the world]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta (MADI)*, 2011; 2 (25): 64–68.

4. Shevcova A.G., Mochalina Ju.A. Обзор novyh tehničeskikh sredstv organizacii

dorozhnogo dvi-zhenija [Review of new technical means of traffi management]. *Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tehnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy racional'nogo ispol'zovaniya*, 2015; 2 (2): 672–677.

5. Bellemans T., De Moor B., De Schutter B. Model predictive control for ramp metering of motorway traffic a case study. *Control Engineering Practice*. 2006; 7(14): 757–767.

6. Zheng P., McDonald M. Evaluation of effects of ramp metering on merging operations. *Transportation Research Record*. 2007; 2012: 105–112.

7. Meng Q., Khoo H.L. A pareto-optimization approach for a fair ramp metering. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2010; 4(18): 489–506.

8. Gorelov A.M., Vlasov A.A. Upravlenie v'ezdami na avtomobil'nyh magistraljah [Access control on highways]. *Nauka i tehnika v dorozhnoy otrasli*, 2015; 1 (71): 15–17.

9. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffi theory. *Traffic Engineering and Control*. 2007; 1(48): 28–35.

10. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffi theory – part II. *Traffic Engineering and Control*. 2007; 2(48): 68–75.

11. Kerner B.S. On-Ramp metering based on three-phase traffi theory – part III. *Traffic Engineering and Control*. 2007; 3(48): 114–120.

12. Abdel-Aty, M., Dhindsa, A., Gayah, V., 2007. Considering various ALINEA ramp metering strategies for crash risk mitigation on freeways under congested regime. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*; 15(2): 113–134.

Поступила 27.02.2019, принята к публикации 12.04.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новиков Александр Николаевич (г. Орел, Россия) – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Сервис и ремонт машин» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, ORCID ID 0000-0001-5496-4997 (302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95), e-mail: novikovan@ostu.ru

Новиков Иван Алексеевич (г. Белгород, Россия) – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0001-5322-9640 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: ooows@mail.ru

Шевцова Анастасия Геннадьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0001-8973-9271 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В.Г. Шухова), e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Бурлуцкая Алина Геннадьевна – магистрант кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, ORCID ID 0000-0002-9892-7183 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В. Г. Шухова), e-mail: alinabur1995@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Novikov Alexander Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Machines Service and Repair Department, Orel State University named after I.S. Turgeneva, ORCID ID 0000-0001-5496-4997 (302026, Orel, 95 Komsomolskaya St., e-mail: novikovan@ostu.ru).

Novikov Ivan Alekseevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Traffic Operation and Organization Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova (308012, Belgorod, 46 Kostyukova St., e-mail: ooows@mail.ru).

Shevtsova Anastasia Gennad'evna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Traffic Operation and Organization Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova (308012, Belgorod, 46 Kostyukova St., e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru).

Burlutskaya Alina Gennad'evna – Master Student of the Traffic Operation and Organization Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova (308012, Belgorod, 46 Kostyukova St., e-mail: alinabur1995@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Новиков А.Н. Выполнение аналитических исследований, постановка цели и задачи исследований, анализ и ознакомление с зарубежным и отечественным опытом.

Новиков И.А. Выбор подхода к интеллектуализации въездных участков, определение системы Ramp metering, определение объектов исследования, основных транспортных и геометрических характеристик.

Шевцова А.Г. Выполнение исследований на реальных объектах, анализ алгоритмов управления интеллектуальными съездами, разработка нового подхода к расчету интеллектуального съезда, с учетом отечественной специфики движения транспортных средств.

Бурлуцкая А.Г. Анализ результатов полученных данных в ходе выполнения натурных исследований.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Novikov A.N. – performing analytical research, setting goals and objectives of research, analysis and familiarization with foreign and domestic experience.

Novikov I.A. – choice of approach to the intellectualization of entry areas, definition of the Ramp metering system, definition of the research objects, main transport and geometric characteristics.

Shevtsova A.G. – performing research on real objects, analyzing algorithms control of intellectual congresses, developing a new approach to calculating an intellectual congress, taking into accounts the domestic specifics of the vehicles movement.

Burlutskaya A.G. – analysis of the data results during the research execution.

**РАЗДЕЛ III.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

УДК 624.072.2.012.4.046

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ю.В. Краснощекоев
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия
uv1942@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Решается задача разработки расчетной модели сопротивления поперечной силе железобетонных изгибаемых элементов с учетом влияния изгибающих моментов.

Материалы и методы. Выполнен анализ исследований и методов расчета прочности железобетонных элементов по поперечной силе и определены способы решения поставленной задачи.

Результаты. Предлагается расчетная модель несущей способности железобетонных элементов по поперечной силе, учитывающая совместное действие поперечных сил и изгибающих моментов. Для определения влияния поперечной силы на напряженное состояние нормальных сечений использована аналогия между аркой с затяжкой и траекторией главных сжимающих напряжений в балке (арочный эффект). Сделан вывод, что одним из основных регуляторов надежности железобетонных элементов, рассчитанных по новой модели, является расчетное значение сопротивления сдвигу бетона. Выполнено сравнение результатов расчета по предлагаемому методу и ранее полученным опытными данными.

Обсуждение и заключение. Несущая способность железобетонных элементов на действие поперечной силы зависит от прочности сжато-сдвигаемой зоны бетона над трещинами, размеры и напряженное состояние которой определяются с использованием арочной аналогии. Применение предлагаемой модели позволяет устранить эмпирические недостатки нормативного метода расчета и значительно упростить оценку прочности при проектировании изгибаемых железобетонных элементов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прочность железобетона, поперечная сила, изгибающий момент, обобщенная расчетная модель, сопротивление бетона сдвигу, арочная аналогия.

© Ю.В. Краснощекоев



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

CALCULATED MODEL OF THE TRANSVERSE STRENGTH RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS

Y.V. Krasnoshchekov

Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russia
uv1942@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. *The paper presents the design solution of the computational model to the transverse strength resistance of reinforced concrete bending elements, taking into account the influence of bending moments.*

Materials and methods. *The author analyzed the methods of the reinforced concrete elements' strength calculation by transverse force and also presented the solutions of such problem.*

Results. *As a result, the paper describes the calculation model of the bearing capacity of reinforced concrete elements by the transverse force, taking into account the joint action of transverse force and bending moments. The author uses the analogy between the arch with tightening and the trajectory of the main compressive stresses in the beam (arch effect) to determine the effect of the transverse force on the stress state of normal sections. Moreover, the paper concludes that one of the main regulators of the reinforced concrete elements' reliability is the calculated value to the concrete shear resistance. The manuscript demonstrates the comparison of the calculation results by the proposed method to the previously obtained experimental data.*

Discussion and conclusions. *The bearing capacity of reinforced concrete elements on the transverse force depends on the strength of the concrete compressed-shear zone over cracks, the size and stress state of which are determined by the arch analogy. The application of the proposed model eliminates the empirical shortcomings of the normative calculation method and greatly simplifies the strength assessment on the bent concrete elements' design.*

KEYWORDS: *reinforced concrete strength, transverse force, bending moment and the generalized analysis model, the resistance of the concrete shear, arched analogy.*

© Y.V. Krasnoshchekov



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Основные недостатки современной теории расчета железобетонных конструкций на действие поперечной силы: эмпирическая оценка усилий, воспринимаемых бетоном, и раздельное рассмотрение уравнений равновесия моментов и поперечных сил, исключающее возможность учета их взаимного влияния. Для устранения отмеченных недостатков предпринята попытка построения новой расчетной модели.

2. Совершенствование теории расчета невозможно без анализа опыта проектирования железобетонных конструкций. Выявлены недостатки и недооцененные в свое время преимущества различных расчетных моделей. В частности, на определенных этапах развития теории выполняли анализ траекторий главных напряжений, дающих наглядное представление о направлении внутренних усилий в изгибаемых элементах. Например, траектория главных сжимающих напряжений является основой арочного эффекта, который можно использовать для учета взаимного влияния поперечных сил и изгибающих моментов.

3. Новая модель основана на арочном эффекте и уточнении напряженного состояния нормальных сечений, проходящих через вершину косых трещин, в предельном состоянии разрушения под действием сдвигающих и изгибающих усилий. В результате сравнения расчетных и опытных данных получено представление о расчетных значениях сопротивления бетона сдвигу.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе развития теории железобетона применяли различные расчетные модели прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил Q . К настоящему времени накоплена достаточная эмпирическая основа в виде общепризнанных форм разрушения железобетонных элементов от поперечных сил, которая может происходить:

- по сжатой зоне в результате раздробления или среза бетона над наклонной трещиной;
- по растянутой зоне вследствие текучести или нарушения анкеровки арматуры;
- в результате раздробления бетона между наклонными трещинами.

Однако, несмотря на многочисленные исследования железобетонных конструкций, методы расчета на действие поперечных сил, применяемые в настоящее время в России, все еще остаются несовершенными¹. Обилие эмпирических коэффициентов в расчетных моделях лишает расчет необходимой наглядности и затрудняет его применение в практике проектирования. Аналогичный вывод сделан при анализе расчетных моделей, принятых в евро нормах: несмотря на то, что действие поперечной силы, вероятно, – наиболее изученный вид повреждения конструкций, многие вопросы остаются неопределенными или спорными. В отличие от сопротивления изгибу не существует даже общепринятой теории, которая описывала бы поведение конструкций при сдвиге, особенно без поперечной арматуры [1].

К недостаткам современной теории расчета на действие поперечной силы следует отнести также раздельное рассмотрение уравнений равновесия моментов и поперечных сил, затрудняющее возможность учета их взаимного влияния. На наш взгляд, основным препятствием в развитии теории расчета на действие поперечных сил является неопределенность напряженного состояния бетона при разрушении сжатой зоны сечений элемента, проходящих через вершину критической наклонной трещины. По этой причине в настоящее время не учитывается взаимное влияние моментов и поперечных сил на размеры и напряженное состояние сжатой зоны бетона. При разрушении по моменту неопределенным является влияние на напряженное состояние сжатой зоны поперечных сил. При разрушении по поперечной силе неопределенным является влияние на напряженное состояние моментов.

Цель данного исследования – разработка расчетной модели сопротивления поперечной силе с учетом влияния изгибающих моментов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

До разработки метода предельных состояний расчет сводился к проверке на растяжение (скалывание) от действия касательных (скалывающих) напряжений, определяемых по простой формуле (в общем случае соответствующей формуле Журавского):

$$\tau = Q/bz, \quad (1)$$

¹ Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций / под ред. А.А. Гвоздева. М.: Стройиздат, 1978. 204 с.

где b – минимальная ширина сечения, z – плечо внутренних сил, принимаемое приближенно равным $0,9h_0$.

Если напряжения τ не превышали допустимых, указанных нормами значений, то по расчету в железобетонных элементах не требовалась постановка отгибов и хомутов. Тем не менее поперечная арматура ставилась по конструктивным соображениям, так как разрушение от действия поперечных сил признавалось очень опасным. В случае когда скалывающие напряжения превосходили допустимые значения, то по германским и многим другим нормам скалывающие усилия полностью передавались на отгибы и хомуты без учета влияния сопротивления бетона².

Формула Журавского и её производное (1) никак не объясняли разрушение железобетонных элементов с образованием в бетоне косых трещин. Поэтому позднее расчет стал выполняться на совместное действие нормальных и касательных напряжений по главным (косым) растягивающим напряжениям^{3, 4, 5}:

$$\sigma_{mt} = \sigma + \sqrt{(\sigma/2)^2 + \tau^2}. \quad (2)$$

Касательные напряжения в выражении (2) по-прежнему определяли по формуле (1) с уточнением плеча z в зависимости от неупругих деформаций бетона сжатой зоны.

При расчете по главным растягивающим напряжениям допускалось передавать на бетон до 40% напряжений, но основная их часть должна была восприниматься отгибами и поперечной арматурой.

Ввиду обязательного применения отгибов и поперечной арматуры методы расчета по касательным и главным растягивающим напряжениям иногда называют методом «фер-

менной аналогии» (метод Риттера-Мёрша), поскольку в них применена идеализированная стержневая модель с использованием аналогии железобетонного элемента с поперечной арматурой и раскосной фермой⁶ [6]. Расчет прочности по методу «ферменной аналогии» производился по главным растягивающим напряжениям, воспринимаемым бетоном и арматурой.

Метод «ферменной аналогии» не утратил значения до сих пор и реализован в усовершенствованном виде в нормах стран Европы и Америки при расчете на действие поперечных сил (модель «тяжи и распорки»)⁷ [1, 2].

Известны также расчетные модели железобетонных балок в виде систем с элементами, расположенными по траектории главных напряжений [3, 4]. Например, после образования в балке наклонных трещин просматривается подобие арки с арматурной затяжкой (рисунок 2). Однако модель с учетом арочного эффекта, создаваемого траекторией главных сжимающих напряжений, не получила развития на действие поперечных сил [5].

Результаты расчетов с применением моделей, основанных на различных аналогиях, в некоторых случаях значительно расходятся с опытными данными и при оценке прочности недостаточно надежны.

На основе метода равновесия предельных усилий, разработанного А.А. Гвоздевым, и экспериментов М.С. Боришанского были получены новые представления о сопротивлении железобетонных элементов действию поперечных сил^{8, 9}. Предложенная ими модель наклонного сечения в предельном состоянии по прочности позволила перейти от главных напряжений к внутренним усилиям, действующим на стадии разрушения.

Совершенствованию расчетной модели

² Молотилов, Н.И. Теория и практика железобетона. Конструирование и расчет / Н.И. Молотилов. Часть 1. Томск : Издатком втузов, 1931. 1002 с.

³ Там же.

⁴ Таль, К.Э., Костюковский М.Г. Расчет и конструирование железобетонных конструкций. М. – Л. : Стройиздат, 1941. 160 с.

⁵ Иванов-Дятлов, И.Г. Железобетонные конструкции. М. – Л. : Минкомхоз. 1950. 296 с.

⁶ Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. Киев : Будивельник, 1989. 104 с.

⁷ Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по евронормам. М. : Издательство АСВ, 2007. 216 с.

⁸ Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. М. : Стройиздат, 1949. 280 с.

⁹ Боришанский М.С. Расчет отогнутых стержней и хомутов в изгибаемых железобетонных элементах по стадии разрушения. М. – Л. : Стройиздат, 1946. 79 с.

наклонного сечения посвящены обширные исследования А.С. Залесова и его учеников^{10, 11, 12, 13}. Усовершенствования позволили повысить точность расчетов и надежность проектируемых конструкций. В работе¹⁴ подробно описана общая деформационная модель для наклонных сечений с диагональными трещинами и её упрощенные варианты. В общей модели использованы, в частности зависимости, связывающие касательные напряжения и перемещения материалов вдоль наклонной трещины.

Исследования продолжаются, однако направлены они в основном на уточнение теоретических моделей деталями, зачастую малозначимыми и усложняющими расчет. Тем не менее некоторые экспериментальные данные, получаемые в рамках этих исследований, заслуживают внимания. Так, испытаниями установлено, что существует взаимосвязь между поперечной силой, воспринимаемой изгибаемыми железобетонными элементами, и высотой сжатой зоны в момент разрушения по наклонному сечению, а также зависимость предельных деформаций и напряжений сдвига от величины продольных напряжений в нормальном сечении, проходящем через вершину наклонной трещины [6].

Основной и наиболее опасной формой разрушения является раздробление или срез бетона сжатой зоны. С такой формой обычно ассоциируется расчет методами «ферменной» аналогии или наклонных сечений при действии моментов или поперечных сил. Двойственный характер такого разрушения является обоснованием расчета на раздельное действие изгибающих моментов M и поперечных сил Q . При преобладающем действии моментов разрушение происходит в результате образования нормальных и наклонных трещин с последующим раздроблением сжатой зоны бетона над трещинами или разрывом растянутой арматуры, пересекающей трещины. Разрушение от действия поперечных сил, как установлено многочисленными опытами, происходит по наклон-

ному сечению, проходящему по наклонной трещине с разрушением бетона над трещиной, иногда сопровождаемое срезом сжатой зоны. Неопределенным здесь является влияние на напряженное состояние моментов. Общим в этих видах разрушения является образование и развитие трещин с последующим разрушением бетона сжатой зоны. На основании этого в работе [17] предложена обобщенная модель расчета прочности железобетонных элементов при поперечном изгибе в виде

$$Q/Q_{ult} + M/M_{ult} = 1, \quad (3)$$

где Q_{ult} и M_{ult} – предельные расчётные усилия в нормальном сечении.

Однако предложенная модель требует более тщательного теоретического анализа напряженного состояния и обоснования предельных усилий.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В российских нормах сопротивление бетона поперечной силе в настоящее время рекомендуется определять по эмпирической формуле в зависимости от расчётного сопротивления бетона растяжению R_{bt}

$$Q_b = 1,5R_{bt}bh_0^2 / c, \quad (4)$$

где b , h_0 – размеры нормального сечения; c – наиболее опасная длина проекции наклонного сечения на ось балки.

Поиски наиболее опасной длины проекции наклонного сечения продолжают до сих пор, поэтому нормами рекомендуется принимать приближенно $c = (1 - 2)h_0$.

Покажем, что сведения о величине c можно получить из анализа формулы (1). Наличие в этой формуле параметра изгиба z свидетельствует об её обобщенном характере и возможности учета влияния изгибающего момента. Примем для балки прямоугольного сечения при высоте сжатой зоны $x = \xi h_0$ плечо (расстояние между центрами тяжести сжатой и растя-

¹⁰ Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций / под ред. А.А. Гвоздева. М. : Стройиздат, 1978. 204 с.

¹¹ Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. Киев : Будивельник, 1989. 104 с.

¹² Залесов А.С., Ильин О.Ф., Титов И.А. Напряженное состояние перед разрушением // Новое о прочности железобетона / под ред. К.В. Михайлова. М. : Стройиздат, 1977. С. 76–93.

¹³ Тур В.В., Кондратчик А.А. Расчет железобетонных конструкций на действие поперечных сил. Брест : БГТУ, 2000. 400 с.

¹⁴ Там же.

нутой зон) $z = M/\sigma_b x$. В случае $M = Qc$ имеем $c = \sigma_b h_0 / t$. Если принять, что при разрушении прочность бетона сжатой зоны исчерпана на сжатие и срез, то $\sigma/t \approx 10$. Отсюда можно получить приближенное выражение для длины проекции наиболее опасного наклонного сечения $c \approx 10\xi h_0$. Из анализа формулы М.С. Боришанского (4), принятой ныне действующими российскими нормами проектирования, установлено, что она исходит из среднего значения $\xi = 0,15$ [8]. При этих условиях среднее значение $c = 1,5h_0$ соответствует рекомендациям норм. Опытами установлено также, что если $c \leq 5h_0$, то максимальное значение $\xi = 0,5h_0$.

В работе¹⁵ отмечено, что величина Q_b по существу включает в себя поперечную силу, воспринимаемую бетоном над наклонной трещиной. Однако это противоречит опытным данным, полученным при испытании железобетонных балок, нагруженных парой сил симметрично относительно среднего сечения¹⁶. На рисунке 1 показаны характерные трещины на приопорных участках перед разрушением балочных элементов. Здесь в результате совместного действия поперечных сил и изгибающих моментов образуются трещины криволинейного очертания и только на участке между силами F развиваются в основном нормальные трещины. В процессе испытаний определяли напряженно-деформированное состояние бетона и арматуры и выявили ряд особенностей. Установлено, например, что бетон активно работает на сжатие не только над вершиной наклонной трещины, но и ниже её, причем напряжения под наклонной трещиной достигают почти 50% призмочной прочности (см. нормальные напряжения σ_b на рисунке 1). Касательные напряжения действуют практически по всей высоте нормального сечения, в том числе и в пределах нормальной трещины. Природу касательных напряжений в нормальной трещине можно объяснить действием механического зацепления неровностей берегов трещины при сдвиговых деформациях бетона и работой продольной арматуры как нагелей.

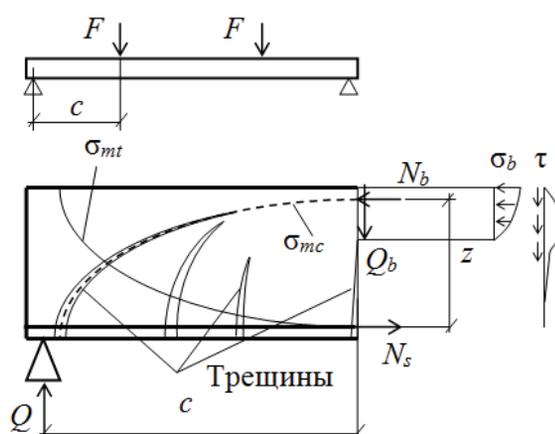


Рисунок 1 – Схема трещин и усилий на приопорном участке балки

Figure 1 – Scheme of the cracks and effort pre-supporting area of the beam

Источник: составлено автором на основе анализа опытных данных¹⁷

Известно, что очертание трещин определяется направлением главных сжимающих напряжений σ_{mc} , которые пересекаются с линией главных растягивающих напряжений σ_{mt} под прямым углом. Траектории главных напряжений дают наглядное представление о направлении внутренних усилий в изгибаемых элементах. В каждой точке траектории касательная совпадает с направлением главных напряжений, поэтому арматуру железобетонных балок целесообразно располагать по направлению главных растягивающих напряжений [4].

Арочным эффектом, создаваемым главными сжимающими напряжениями, можно объяснить характер разрушения опытных железобетонных балок с поперечной арматурой и без неё в экспериментах Ф. Мёрша, сведения о которых извлечены из работы¹⁸. На рисунке 2 показано, что разрушение обеих балок переменного сечения с одинаковой продольной арматурой происходит после образования нормальных и наклонных трещин и определенным образом связано с траекторией глав-

¹⁵ Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций / под ред. А.А. Гвоздева. М. : Стройиздат, 1978. 204 с.

¹⁶ Залесов А.С., Ильин О.Ф., Титов И.А. Напряженное состояние перед разрушением // Новое о прочности железобетона / под ред. К.В. Михайлова. М. : Стройиздат, 1977. С. 76–93.

¹⁷ Там же.

¹⁸ Молотиллов, Н.И. Теория и практика железобетона. Конструирование и расчет / Н.И. Молотиллов. Часть 1. Томск : Издатком втузов, 1931. 1002 с.

ных сжимающих напряжений (точечные линии). Верхняя балка без поперечной арматуры разрушилась при сосредоточенной нагрузке $F = 15,3$ тс. Разрушение нижней балки с поперечной арматурой произошло по нормальному сечению, проходящему по краю распределительной пластины под испытательной нагрузкой $F = 28,5$ тс. Обратим внимание, что поперечная арматура в нижней балке расположена на значительном удалении от нормальных сечений, по которым произошло обрушение балок, и тем не менее она заметно повлияла на увеличение несущей способности.

Приведенные примеры натолкнули на мысль о том, что траекторию главных сжимающих напряжений можно использовать для уточнения размеров сжато-сдвигаемой зоны бетона. Бетон над условной аркой главных сжимающих напряжений можно рассматривать как определенный резерв прочности нормальных сечений, который реализуется при действии поперечной силы. Чем больше участок бетона над аркой, тем больше сопротивление поперечной силе.

Развивая эту мысль, на рисунке 3 выделили условную арку по траектории главных сжимающих напряжений. Кроме арки с затяжкой

в конструкции балки, обеспечивающей восприятие изгибающих моментов, имеются два обширных участка бетона ниже и выше арки. В нижнем (пролетном) участке в процессе нагружения, как правило, образуются и развиваются трещины, и работа бетона в предельном состоянии при разрушении балки обычно не учитывается. В верхних (надпорных) участках бетон выполняет не только конструктивные функции, но может быть учтен при расчете на действие поперечных сил, т.е. по размерам этих участков можно судить о сопротивлении сдвигу нормальных сечений балки.

Таким образом, в общем случае при поперечном изгибе балок бетон каждого нормального сечения на участке без трещин воспринимает нормальные напряжения сжатия и касательные напряжения сдвига. В процессе нагружения в бетоне сжатой (сжато-сдвигаемой) зоны происходит сложный процесс перераспределения напряжений. Определить действительное напряженное состояние бетона при разрушении путем прямых измерений невозможно, поэтому для расчета в предельном состоянии приняты упрощающие предпосылки (рисунок 4).

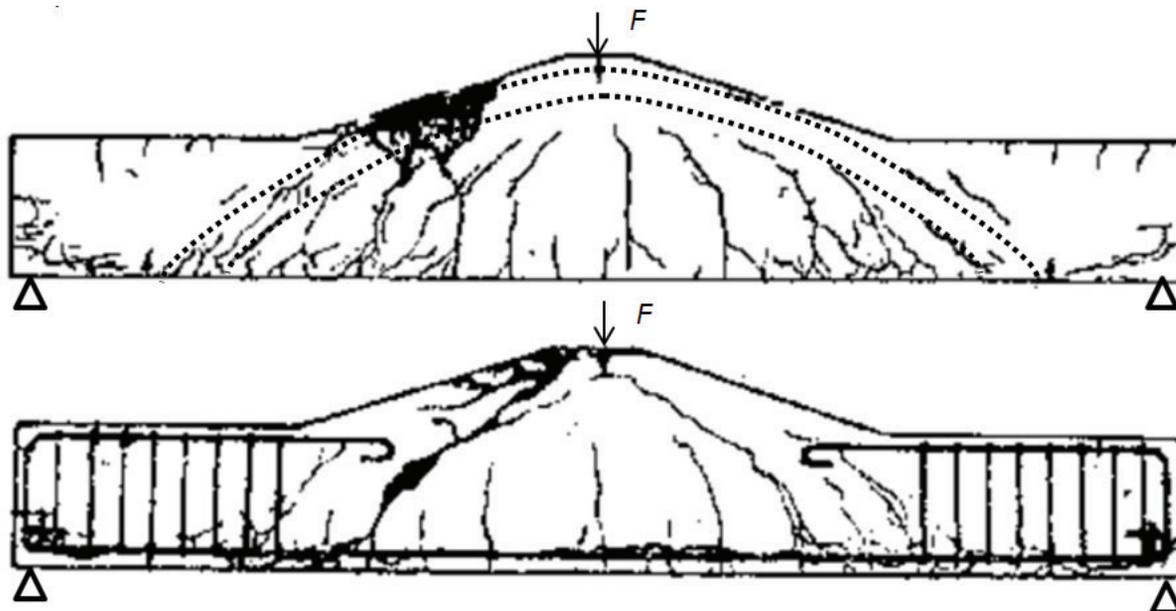


Рисунок 2 – Схемы опытных балок после разрушения с траекторией главных сжимающих напряжений

Figure 2 – Schemes of experimental beams after the destruction by the compressive stress trajectory
Источник: заимствовано¹⁹ с авторским дополнением элементами расчетной схемы

¹⁹ Там же.

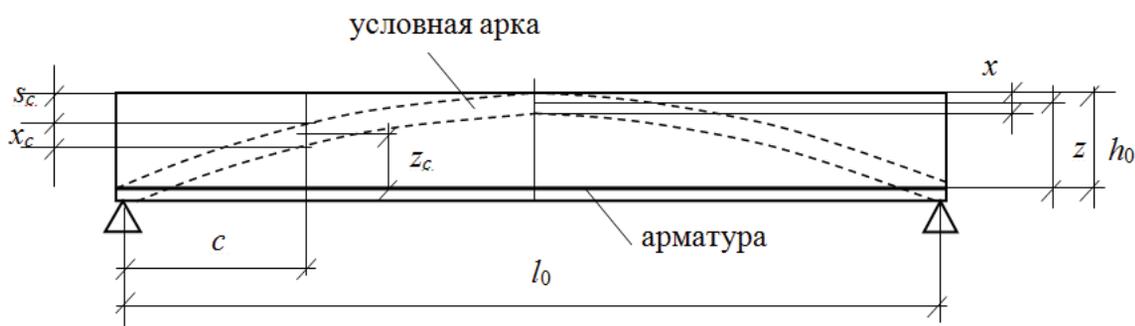


Рисунок 3 – Схема балки с условной аркой по траектории главных сжимающих напряжений

Figure 3 – Scheme of the conventional arch beam by the compressive stress trajectory
Источник: составлено автором на основе гипотезы арочного эффекта

1) Предельными значениями напряжений бетона в нормальных сечениях принимаются расчетные сопротивления сжатию R_b и срезу (сдвигу) $R_{b,sh}$.

2) Нормальные напряжения в бетоне равномерно распределяются по площади сжатия A_{bc} , касательные напряжения концентрируются на площади среза $A_{b,sh}$. Общая площадь сжатой зоны $A_b = A_{bc} + A_{b,sh}$.

3) Нормальное усилие сжатия в расчетном сечении $N_b = R_b A_{bc}$ принимается из условия равновесия $N_b = N_s$. Отсюда площадь сжатого бетона $A_{bc} = N_s / R_b$. Если растянутая арматура в пролете балки не обрывается, то площадь сжатия прямоугольного сечения принимается по наиболее напряженному сечению балки (при поперечной силе $Q = 0$) $A_{bc} = A_b = bx$.

4) Усилие в растянутой арматуре $N_s = R_s A_s$, причем площадь сечения арматуры A_s должна быть не менее требуемой по условию прочности рассматриваемого сечения балки на действие изгибающего момента, а арматура

должна быть надежно заанкерена за пределами рассматриваемого нормального сечения.

5) При известном значении изгибающего момента в сечении M усилие N_b приложено на расстоянии от растянутой арматуры $z_c = M / N_s$. Изгибающий момент M в расчетном сечении принимается по эпюре моментов. Например, при схеме нагружения по рисунку 1 следует $M = Qc$.

6) Площадь сечения бетона $A_{b,sh}$ находится по фактическим значениям ширины и высоты

$$s_c = h_0 - z_c - x/2. \quad (5)$$

Высоту сечения сжатого участка x целесообразно принять как для прямоугольного сечения, поэтому при определении площади A_b ширина сечения принимается минимальной b_{min} , если сечение балки отличается от прямоугольного.

7) Прочность нормального сечения на срез определяется усилием $Q_b = R_{b,sh} A_{b,sh}$. В общем случае $A_{b,sh} = A_b - A_{bc}$.

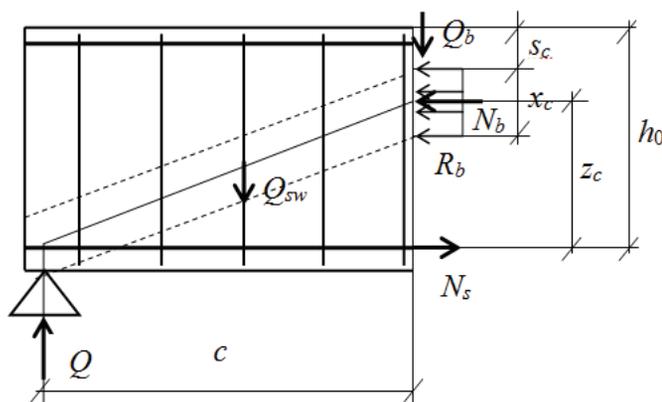


Рисунок 4 – Схема расчетных усилий в нормальном сечении

Figure 4 – Scheme of calculated forces in normal section
Источник: составлено автором по расчетным предпосылкам

Таблица
Кoeffициенты безопасности C для опытных балок при расчетных значениях поперечной силы Q

Table
Safety factors C of the experimental beams with design shear force values Q

№	По СП 63.3330.2012*	По (7) при γ_b		
		1,0	1,5	2,0
1	2,17	2,98	2,30	1,96
2	2,80	3,61	2,71	2,26
3	2,94	3,83	2,89	2,42
4	1,29 (1,77)	1,56 (2,07)	1,44 (1,86)	1,35 (1,72)
5	1,26 (1,73)	1,52 (2,02)	1,40 (1,81)	1,32 (1,68)
6	1,13 (1,36)	1,61	1,29	1,14
7	1,69	2,39	1,92	1,69
8	2,11	2,68	2,01	1,67
9	1,74	2,21	1,66	1,38
10	1,44 (1,88)	1,68 (2,13)	1,49 (1,83)	1,37 (1,65)
11	1,29 (1,69)	1,51 (1,90)	1,34 (1,63)	1,23 (1,47)
12	1,32 (1,73)	1,54 (1,94)	1,37 (1,68)	1,25 (1,51)
13	1,39 (1,82)	1,63 (2,06)	1,45 (1,78)	1,33 (1,60)
14	1,48 (1,78)	1,81	1,36	1,13
15	1,94	2,21 (2,72)	1,91 (2,28)	1,72 (2,02)

С учетом принятых предпосылок при прямоугольном сечении балки шириной b и загрузке по схеме 1 для расчетного значения Q_b получено выражение

$$Q_b = R_{b,sh} b \left(z - \frac{Qc - Q_{sw} c / 2}{N_s} \right). \quad (6)$$

Анализ формулы (5) показывает, что условие обязательного применения поперечной арматуры является условие $s_c = 0$, при котором $Q_b = 0$. Из формулы (6) следует, что максимальное значение $Q_b = R_{b,sh} b z$ имеет место, если внешний момент полностью воспринимается поперечной арматурой или отгибами, т.е. при $Qc = Q_{sw} c / 2$. Интересно, что полученная зависимость подобна выражению (1) в предельном состоянии.

Сопrotивление бетона срезу определяют по эмпирической зависимости $R_{b,sh} = (0,5 \dots 0,7) \sqrt{R_b R_b}$ или принимают $R_{b,sh} = \gamma_b R_{bt}$ при $\gamma_b \leq 2^{20, 21}$. Рекомендуется уточнять расчет-

ные значения коэффициента γ_b опытным путем.

Для определения расчетной величины поперечной силы при известном значении длины проекции наклонного сечения получено выражение

$$Q = [bzR_{b,sh} + Q_{sw} (1 + bcR_{b,sh} / 2N_s)] / k_c. \quad (7)$$

Здесь $k_c = 1 + bcR_{b,sh} / N_s$.

С целью проверки полученных зависимостей по формуле (7) вычисляли расчетную величину разрушающей нагрузки $F = Q$ опытных балок²² при разных значениях коэффициента γ_b . Сравнивали коэффициенты безопасности $C = Q_{он} / Q$, определенные разными способами. В таблице приведены результаты проверочных расчетов по нормативным зависимостям и формуле (7).

Согласно ГОСТ 8829–94 прочность железобетонных изделий проверяется по коэффициенту безопасности $C = Q_{он} / Q$, соответствующему несущей способности, определенной с

²⁰ Кудзис А.П. Железобетонные и каменные конструкции. В 2-х частях. Часть 1. Материалы, конструирование, теория и расчет. М.: Высшая школа, 1988. 287 с.

²¹ Беляев Н.М. Сопrotивление материалов. М.: Наука, 1976. 856 с.

²² Залесов А.С., Ильин О.Ф., Титов И.А. Напряженное состояние перед разрушением // Новое о прочности железобетона / под ред. К.В. Михайлова. М.: Стройиздат, 1977. С. 76–93.

учетом расчетных сопротивлений материалов и принятой схемы нагружения. Значения коэффициента безопасности C при разрушении от достижения в рабочей арматуре нормального или наклонного сечений напряжений, соответствующих пределу текучести (условному пределу текучести) стали, до раздробления сжатого бетона принимают в зависимости от класса арматуры от 1,25 до 1,4. При разрушении от раздробления бетона сжатой зоны над нормальной или наклонной трещиной в изделии до достижения предела текучести (условного предела текучести) стали в растянутой арматуре, что соответствует хрупкому характеру разрушения, принимается $C = 1,6$. Коэффициент безопасности C фактически является характеристикой надежности расчетной модели прочности железобетонного изделия²³.

Результаты расчета на действие поперечной силы Q по нормативным зависимостям свидетельствуют о достаточной надежности опытных изделий, кроме балки б (см. таблицу). В скобках приведены результаты расчета по допускаемым нормами расчетным значениям, значительно превышающим надежность опытных изделий ($C > 1,6$). Малые значения коэффициента безопасности для балок с поперечной арматурой можно объяснить значительным влиянием поперечной арматуры на разрушение опытных изделий и (или) возможно завышенными расчетными значениями Q_{sw} , которые вычисляли по нормативным зависимостям.

Применение зависимости (7) для проверочного расчёта опытных балок на действие поперечной силы Q при $\gamma_b = 1,5$ подтверждают достаточную надежность предлагаемой расчетной модели для всех проверенных опытных изделий.

На основе зависимости (6) можно решать различные задачи. Так, максимальное расчетное значение длины проекции наклонного сечения без поперечной арматуры можно определить по формуле

$$c = N_s \left(z / Q - 1 / b R_{b,sh} \right) . \quad (8)$$

Приведем примеры расчетов и сравним результаты с нормативными требованиями.

Пример 1. Определить несущую способность балки без поперечного армирования в сечении $c = 2h_0$.

Исходные данные: размеры прямоугольного сечения $b = 20$ см и $h_0 = 27$ см; площадь сечения продольной арматуры класса А 400 ($R_s =$

$= 360$ МПа, модуль упругости $E_s = 200000$ МПа) по всей длине балки $A_s = 6,28$ см², призматическая прочность тяжелого бетона $R_b = 10$ МПа, $R_{bt} = 0,8$ МПа, сопротивление бетона срезу $R_{b,sh} = 1,5R_{bt} = 1,2$ МПа. Изгибающий момент от расчетных нагрузок $M = 45$ кН·м, поперечная сила $Q = 30$ кН.

Граничное значение относительной высоты сжатой зоны нормального сечения $\xi_R = 0,8 / (1 + 360 / 200000 \cdot 0,0035) = 0,528$. Относительная высота сжатой зоны $\xi = 360 \cdot 0,000628 / 10 \cdot 0,2 \cdot 0,27 = 0,419 < \xi_R$. Высота сжатой зоны $x = 0,419 \cdot 0,27 = 0,113$ м. Плечо $z = 0,27 - 0,113 / 2 = 0,213$ м. Несущая способность нормальных сечений по изгибающему моменту $M_{ult} = 10 \cdot 0,2(0,27 - 0,113 / 2) \cdot 0,113 \cdot 1000 = 48,25$ кН·м $> M$. По формуле (6) несущая способность сжатой зоны на срез $Q_b = 1,2 \cdot 0,2(0,213 - 0,03 \cdot 0,54 \cdot 10000 / 360 \cdot 6,28) \cdot 1000 = 33,9$ кН > 30 кН. Это означает, что несущая способность балки с проекцией наклонного сечения $c = 2h_0$ м без поперечного армирования обеспечена.

По формуле (4) норм проектирования $Q_b = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,27^2 \cdot 1000 / 2 \cdot 0,27 = 32,4$ кН $> Q$, т.е. несущая способность балки без поперечного армирования также обеспечена.

Пример 2. По данным примера 1 определить проекцию наклонного сечения без поперечного армирования при произвольном нагружении (без учета влияния внешней нагрузки на балке, расположенной в пределах наклонных сечений).

По формуле (8) получено $c = 360 \cdot 6,28(0,213 / 0,03 - 1 / 0,2 \cdot 1,2) / 10000 = 0,66$ м.

По действующим нормам проектирования длина проекции наклонного сечения $c = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,27^2 \cdot 1000 / 30 = 0,58$ м.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несущая способность железобетонных элементов на действие поперечных сил и изгибающих моментов зависит от прочности сжато-сдвигаемой зоны нормальных сечений. Размеры сжатого участка нормального сечения в предельном состоянии по прочности определяются по правилам пластического шарнира от действия изгибающего момента с учетом арочного эффекта при очертании условной арки по траектории главных сжимаемых напряжений. Размеры сдвигаемого участка характеризуются разницей высот нормального сечения изгибаемого элемента и условной арки.

²³ Краснощечков Ю.В., Заполева М.Ю. Основы проектирования конструкций зданий и сооружений. Москва–Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. 294 с.

Расчетные значения сопротивления бетона на срез нормируются из условия $R_{b,sh} \leq \gamma_b R_{bt}$ при $\gamma_b = 1 \dots 2$. Коэффициент γ_b уточняется опытным путем.

Применение предлагаемой модели с четким физическим смыслом расчетных параметров позволяет значительно упростить оценку прочности на действие поперечной силы при проектировании изгибаемых железобетонных элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Beeby A.W. and Narayanan R.S. Designers guide to Eurocode 2: Design of concrete structures. London. 2009. 230 p.

2. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and commentary (ACI 318r-02). American Concrete Institute. Farmington Hills. 2014.

3. Mörsch F. Der Eisbetonbau. Stuttgart. 1926. P.197–206.

4. Leonhardt F. Spannbeton für die Praxis. Berlin. 1955. 588 p.

5. Богданович О.А. К расчету несущей способности статически определимой железобетонной балки с учетом влияния «арочного эффекта» // Теоретические и экспериментальные исследования мостов и строительных конструкций. №6. Омск, 1973. С. 122–131.

6. Силантьев А.С. Экспериментальные исследования влияния продольного армирования на сопротивление изгибаемых железобетонных элементов без поперечной арматуры по наклонным сечениям // Промышленное и гражданское строительство. № 1. 2012. С. 64–67.

7. Краснощекоев Ю.В. Прочность железобетонных элементов по наклонным сечениям при совместном действии поперечных сил и моментов // Вестник СибАДИ. № 3. 2009. С. 46–50.

8. Краснощекоев Ю.В. О поперечной силе, воспринимаемой бетоном в наклонном сечении железобетонных элементов // Вестник СибАДИ. Т. 15. № 3. 2018. С. 437–447.

REFERENCES

1. Beeby A.W. and Narayanan R.S. Designers guide to Eurocode 2: Design of concrete structures. London, 2009: 230 p.

2. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318–02) and commentary (ACI 318r-02). American Concrete Institute. Farmington Hills. 2014.

3. Mörsch F. Der Eisbetonbau. Stuttgart. 1926: 197-206.

4. Leonhardt F. Spannbeton für die Praxis. Berlin. 1955: 588 p.

5. Bogdanovich O.A. K raschetu nesushchey sposobnosti staticheski opredelimoj zhelezobetonnnoy balki s uchetom vliyaniya «arochnogo efekta» [To the calculation of the bearing capacity of a statically indeterminate reinforced concrete beam taking into account the influence of the “arch effect”]. *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya mostov i stroitel'nykh konstruksiy*. Omsk, 1973; 6: 122–131 (in Russian).

6. Silant'ev A.S. Experimental'nye issledovaniya vliyaniya prodol'nogo armirovaniya na soprotivlenie izgibaemykh zhelezobetonnnykh elementov bez poperechnoy armatury po naklonnym secheniyam [Experimental studies of the effect of longitudinal reinforcement on the resistance of bent concrete elements without transverse reinforcement on inclined sections]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2012; 1: 64–67 (in Russian).

7. Krasnoshchekov Yu.V. Prochnost zhelezobetonnnykh elementov po naklonnym secheniyam pri sovmestnom deistvii poperechnykh sil i momentov [Strength of reinforced concrete elements on the inclined section under the joint action of the transverse forces and moments]. *Vestnik SibADI*, 2009; 3: 46–50 (in Russian).

8. Krasnoshchekov Yu.V. O poperechnoy sile, vosprinimaemoy betonom v naklonnom sechenii zhelezobetonnnykh elementov [On the transverse force perceived by concrete in the inclined section of reinforced concrete elements]. *Vestnik SibADI*, 2018; 3(15): 437–447 (in Russian).

Поступила 31.10.2018, принята к публикации 12.04.2019.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Краснощекоев Юрий Васильевич – д-р техн. наук, доц., кафедра «Строительные конструкции», «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», ORCID 0000-0002-6695-1648 (644080), г. Омск, пр. Мира, д. 5, e-mail: uv1942@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Krasnoshchekov Y.V. – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Building Construction Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID 0000-0002-6695-1648 (644080), 5 Mira Ave., e-mail: uv1942@mail.ru).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; Редакция принимает к рассмотрению **оригинальные научные статьи** объемом 8–10 стр. машинописного текста через 1 интервал, 5–8 рисунков и (или) таблиц, 20–40 ссылок; **обзорные статьи** – (критическое обобщение какой-то исследовательской темы) – от 10 и более страниц, от 5 и более рисунков, до 80 ссылок.

Статья должна быть неопубликованной ранее в других изданиях, написана в контексте современной литературы, обладать новизной и соответствовать профилю журнала. Автор отвечает за достоверность сведений, точность цитирования и ссылок на официальные документы и другие источники. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи, сотрудниками редакции, членами редколлегии, а также рецензентами данной работы. В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий статья будет **ретрагирована** (отозвана из печати).

Следует уделить особенное внимание качеству перевода. Недопустимо при переводе пользоваться машинами-переводчиками. Перевод должен быть выполнен профессиональными переводчиками, а лучше – носителем английского языка. Необходимо учесть, что законодательство охраняет права переводчиков авторским правом наравне с правами авторов оригинальных произведений. Перевод текста – творческий процесс, производный объект авторского права, т.е. переводчик – соавтор нового произведения.

1 УДК. На первой странице, слева в верхнем углу без отступа, указываются индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) (размер шрифта 10 пт).

2. Заглавие статьи. Заголовок (максимально 10–12 слов) должен быть информативным, лаконичным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы. Приводится на русском и английском языках, по центру полужирным шрифтом размером 12 пт. прописными буквами.

3. Фамилии авторов. Количество авторов не должно превышать четырех. Для англоязычных метаданных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия (Anna V. Ivanova). При латинизации фамилии можно воспользоваться системой 1 BSI – Британский Институт Стандартов (British Standards Institution) транслитерации на сайте <http://translit.ru>, при этом необходимо выбрать вариант стандарта, например, BSI. Перечень авторов располагается после заголовка статьи обычным шрифтом (размер шрифта 12 пт.).

4. Аннотация. Аннотация включает характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе научная статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению, объем от 150 до 250 слов. Структура аннотации представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Приводится на русском и английском языках. Начинается словом «Аннотация» с прописной буквы (шрифт полужирный, курсив, 10 пт); точка; затем с прописной буквы текст (курсив, 10 пт).

5. Ключевые слова служат ориентиром для читателя и используются для поиска статей в электронных базах, поэтому должны отражать дисциплину (область науки, в рамках которой написана статья), тему, цель и объект исследования. Рекомендуемое количество ключевых слов – 10–12, количество слов внутри ключевой фразы – не более трех.

Размещаются после аннотации, на русском и английском языках.

6. Благодарности. Раздел включен в требования всеми крупными издательствами. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

7. Основные положения. Отражают ключевые результаты исследования, основное содержание статьи, изложенные тезисно и оформленные в виде 3–5 пунктов маркированного списка.

8. Основной текст статьи излагается на русском или английском языках, в электронном и бумажном виде (шрифт «Arial» (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный), в следующей последовательности:

Введение (1–4 стр.) В этом разделе описываются общая тема исследования, цели и задачи планируемой работы, теоретическая и практическая значимость, приводятся наиболее известные и авторитетные публикации по изучаемой теме, обозначаются нерешенные проблемы. Данный раздел должен содержать обоснование необходимости и актуальности исследования. Информация во Введении должна быть организована по принципу «от общего к частному».

Подразделы введения представлены на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Методы и материалы (от 2 стр. и более) В этом разделе в деталях описываются методы, которые использовались для получения результатов. Обычно сначала дается общая схема экспериментов/исследования, затем они представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Результаты. В этом разделе представлены экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в обработанном варианте: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. В этом разделе приводятся только факты. Если было получено много похожих зависимостей, представляемых в виде графиков, то приведите только один типичный график, а данные об имеющихся количественных отличиях между ними, представьте в таблице.

Способы представления результатов представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Обсуждение и заключение. Раздел содержит интерпретацию полученных результатов исследования, предположения о полученных фактах, сравнение полученных собственных результатов с результатами других авторов. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

9. Библиографический список (References)

В библиографический список включаются только те источники, которые автор использовал при подготовке статьи. Оформление библиографического списка регламентируется ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать 20–40 источников, но не более 50. Из них за последние 3 года – рекомендуется указать не менее 20, иностранных – не менее 15. Важно правильно оформить ссылку на источник.

Следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет.

Источники указываются в конце статьи в алфавитном порядке либо в порядке упоминания в тексте статьи.

Приводится на русском языке и в латинице по образцу, представленному на сайте журнала.

Аффилиация. Фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, ORCID i, Scopus Author ID, ResearcherID, далее указать все места работы, должность, название организации, служебный адрес, электронная почта, телефон, e-mail. Приводится на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению.

Формат А4, шрифт Arial (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный.

Поля: верхнее – 3,5 см, остальные – по 2,5.

Все сокращения при первом употреблении должны быть полностью расшифрованы, за исключением общепринятых терминов и математических величин.

Формулы необходимо набирать в редакторе формул Microsoft Equation. Перенос формул допускаются на знаках «плюс» и «минус», реже – на знаке «умножение». Эти знаки повторяются в начале и в конце переноса. Формулы следует нумеровать (нумерация сквозная по всей работе арабскими цифрами). Номер формулы заключают в круглые скобки у правого края страницы.

Рисунки, схемы и графики предоставляются в электронном виде включенными в текст, в стандартных графических форматах с обязательной подрисуночной подписью, и отдельными файлами с расширением (JPEG, GIF, BMP). Должны быть пронумерованы (Таблица 1 – Заголовок, Рисунок 1 – Наименование), озаглавлены (таблицы должны иметь заглавие, выравнивание по левому краю, а иллюстрации – подрисуночные подписи, выравнивание по центру). В основном тексте должны содержаться ссылки на них (на рисунке 1.....).

Рисунки и фотографии должны быть ясными и четкими, с хорошо проработанными деталями с учетом последующего уменьшения. При представлении цветных рисунков автор должен предварительно проверить их качество при использовании черно-белой печати. Отсканированные версии рисунков, схем, таблиц и формул не допускаются.

Таблицы предоставляются в редакторе Word.

Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

Общий порядок опубликования

Рукописи статей, подготовленные в соответствии с правилами оформления научно-исследовательской публикации и принятыми редакцией журнала международными стандартами, в электронном (через официальный сайт журнала) и бумажном виде предоставляются в редакцию журнала в комплекте:

- с экспертным заключением о возможности опубликования в открытой печати;

- лицензионным договором между ФГБОУ ВО «СибАДИ» и авторами;

При регистрации присваивается дата поступления и регистрационный номер статьи. Статьи регистрируются через электронную редакцию. Регистрация осуществляется бесплатно.

Первичная экспертиза на соответствие требованиям и профилю журнала (модерация). Зарегистрированные рукописи статей проходят первичную экспертизу на соответствие требованиям и профилю журнала. Началом для экспертизы рукописи статьи редакцией является дата регистрации статьи. Редакция журнала оставляет за собой право отбора присылаемых материалов. Только прошедшие первичную экспертизу рукописи статей, полностью соответствующие требованиям редакции журнала, соответствующие профилю журнала, получают статус «Принята к рассмотрению». Для них отдельно регистрируется дата приема рукописи статьи к рассмотрению.

Рецензирование. Принятые к рассмотрению рукописи статей направляются на слепое рецензирование для оценки их научного содержания нескольким специалистам соответствующего профиля, членам редакционной коллегии и/или редакционного совета. Экспертиза и рецензирование осуществляются бесплатно.

Решение о принятии к публикации основывается на поступивших рекомендациях рецензентов журнала. Если принято решение «рекомендовать с учетом исправления отмеченных недостатков», то автору направляются рекомендации и вопросы для исправления. Рукопись статьи, скорректированная автором, повторно направляется на рецензирование. Рукописи статей, не рекомендованные к публикации, повторно не рассматриваются. Автору рукописи направляется мотивированный отказ в публикации.

Редакционная подготовка. Рукописи статей, принятые к публикации, проходят редакционную подготовку к публикации – литературное редактирование и сверку данных, корректуру, форматирование, макетирование. Общий срок редакционной подготовки статьи, успешно прошедшей рецензирование, составляет 2 месяца в соответствии с периодичностью и графиком публикации выпусков. Корректура статей авторам не высылается, тем не менее вопросы, возникающие в процессе редактирования высылаются авторам для согласования.

Окончательный вариант макета статьи высылается по электронной почте автору на утверждение. На рассмотрение отводится три дня, по истечении которых в случае неполучения ответа от автора, макет автоматически считается автором одобренным и в представленном виде направляется в печать.

Публикация. Подготовленный к публикации макет тиражируется в типографии СибАДИ и размещается на сайте журнала в открытом бесплатном доступе. Публикация всех статей одного выпуска осуществляется единой датой.

Метаданные опубликованных статей выпуска регистрируются в РИНЦ, размещаются в библиографических сервисах и базах данных в сроки, установленные соответствующими договорами, распространяются по подписке.

Контактная информация:

e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org;

Почтовый адрес редакции: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. ФГБОУ ВО «СибАДИ».

Редакция научного рецензируемого журнала Вестник СибАДИ / The Russian Automobile and Highway Industry Journal, издательско-полиграфический комплекс: 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, д. 1.

Тел. (3812) 65-88-30.

Редактор – ответственный секретарь «Вестника СибАДИ» – Куприна Татьяна Васильевна

Поступившие в редакцию материалы не возвращаются.

Гонорары не выплачиваются.

Все статьи публикуются бесплатно.

Информация о научном рецензируемом журнале Вестник СибАДИ / The Russian Automobile and Highway Industry Journal размещена на сайте: <http://vestnik.sibadi.org>