

В.О. Анциферова¹, Е.В. Артамонова¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

РАСЧЕТЫ ПРОЧНОСТИ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В данной работе проводится расчёт балочной системы с использованием компьютерной программы инженерного анализа Femap. Рассматривается решение задачи определения прочностных характеристик балочной конструкции с помощью метода начальных параметров и метода конечных элементов. Производится сопоставление результатов расчетов, полученных в ходе компьютерного моделирования с результатами, полученными по общеизвестным типовым методикам, нахождение погрешности и уточнение компьютерной модели. Продемонстрирован способ уточнения модели за счет корректного задания значения момента инерции. Показана хорошая сходимость результатов расчетов.

Ключевые слова: расчет, балочные системы, программы инженерного анализа

V.O. Antsiferova¹, E.V. Artamonova¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

CALCULATIONS OF THE STRENGTH OF BEAM SYSTEMS USING COMPUTER TECHNOLOGIES

Abstract. In this paper, the calculation of the beam system is carried out using the computer program of engineering analysis Femap. The solution of the problem of determining the strength characteristics of a beam structure using the method of initial parameters and the method of finite elements is considered. The results of calculations obtained in the course of computer modeling are compared with the results obtained by well-known standard methods, the error is found and the computer model is refined. A way to refine the model by correctly setting the moment of inertia is demonstrated. Good convergence of the calculation results is shown.

Key words: calculation, beam systems, engineering analysis programs

Введение

На сегодняшний день во всем мире существуют разные способы расчётов балочных систем от общепринятых расчетов в рамках изучения дисциплины сопротивление материалов до современных компьютерных программ. Основной проблемой проведения инженерных расчетов с помощью компьютерного моделирования, зачастую является достаточно высокая неточность полученных результатов. В основном это связано с нехваткой или недостоверностью исходных данных, некорректном или неверном задании граничных условий, факторов внешнего воздействия, не достаточно точной генерации конечно-элементной модели, а также упрощении геометрической формы модели.

В связи с этим основной целью данной работы, является получение более точных расчётов при использовании компьютерных технологий. Данная цель достигается путем сопоставление результатов расчетов, полученных в ходе компьютерного моделирования с результатами, полученными по общеизвестным типовым методикам, нахождение погрешности и уточнение компьютерной модели.

Модель исследования

Для проведения данного исследования была принята конструкция, представляющая собой балочную систему. Стальная балка опирается на две опоры, одна из которых шарнирно-

подвижная, а другая шарнирно-неподвижная. Поперечное сечение балки представляет собой двутавр №22а. Общая длина балки равна 6 м. На конструкцию действуют следующие факторы внешнего воздействия: крутящий момент, сосредоточенная сила, распределенная сила. Расчетная схема с заданными значениями представлена на рисунке 1.

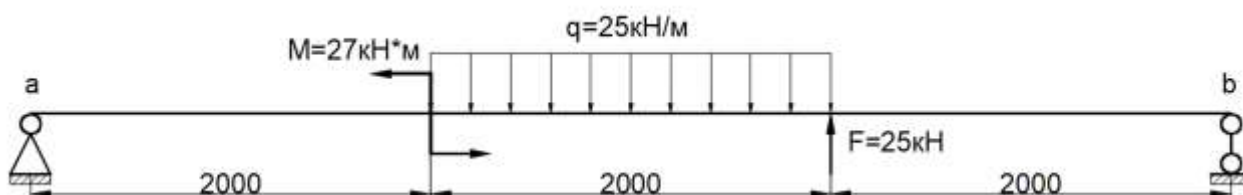


Рис. 1. Расчетная схема

Расчет методом начальных параметров

Одним из наиболее широко применяемых и широко известных методов расчета является метод начальных параметров. Он и был выбран в качестве базового метода расчета балочной системы. Данный метод можно встретить как в классических публикациях по строительной механике и теории механических колебаний [1], так и в сравнительно недавних публикациях [2].

Метод начальных параметров применяется для определения прогибов и углов наклона сечений в прямых балках с постоянной жесткостью поперечного сечения EI_x . Выбранный нами метод является одним из относительно простых способов расчета угловых и линейных перемещений. В расчетах данным методом используется условие возможного изгиба в балках с любым количеством силовых участков. Проведенные нами расчеты методом начальных параметров позволили определить реакции опор, деформации, возникающие в конструкции, построить эпюры сил, моментов, а также рассчитать напряжения. На рисунке 2 в качестве примера представлена эпюра моментов.

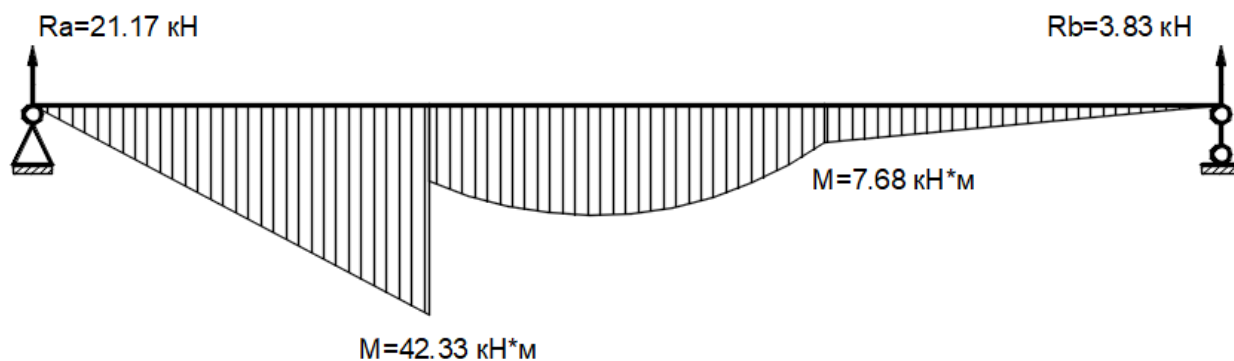


Рис. 2. Эпюра моментов

Результаты расчета методом начальных параметров:

- максимальный прогиб $v = -15,81$ мм;
- реакции опор $R_a = 21,17$ кН, $R_b = 3,83$ кН;
- максимальный изгибающий момент $M_x = 42,33$ кН*м;
- максимальные изгибные напряжения $\sigma_{xy} = 166,9$ МПа.

Расчет методом конечных элементов в системе Femap

Определенной альтернативой классическим методам расчета (в отношении сокращения временных затрат при проектировании балочных систем, а также для повышения уровня информативности их работоспособности) служит развитие теоретических подходов с использованием компьютерных технологий. На сегодняшний день наиболее эффективным из них яв-

ляется метод конечных элементов (МКЭ), основной метод, используемый в программах инженерного анализа.

Для проведения расчетов нами был выбран программный комплекс инженерного анализа Femap. Программа Femap – программа, обеспечивающая решение сложных задач инженерного анализа в различных отраслях, например, таких как авиационно-космическая, вертолетостроение, оборонная промышленность, судостроение, а также железнодорожная отрасль [3-5].

Выделяют следующие преимущества данной программы:

–легко настраиваемая, удобная для пользователей система команд и меню в стиле пользовательского интерфейса Windows;

–быстрый в освоении пользовательский интерфейс способствует максимальной производительности даже при нерегулярном использовании;

–уникальные специализированные демонстрационные панели – такие, как дерево информации о модели и таблица данных предоставляют непосредственный доступ к данным моделирования, обеспечивают быстрое создание и редактирование модели и просмотр результатов.

Перед тем как приступить к расчётам, в программе Femap создается конечно-элементная модель рассматриваемой балочной системы. Учитываются размеры, граничные условия и нагрузки. Данная модель представлена на рисунке 3.

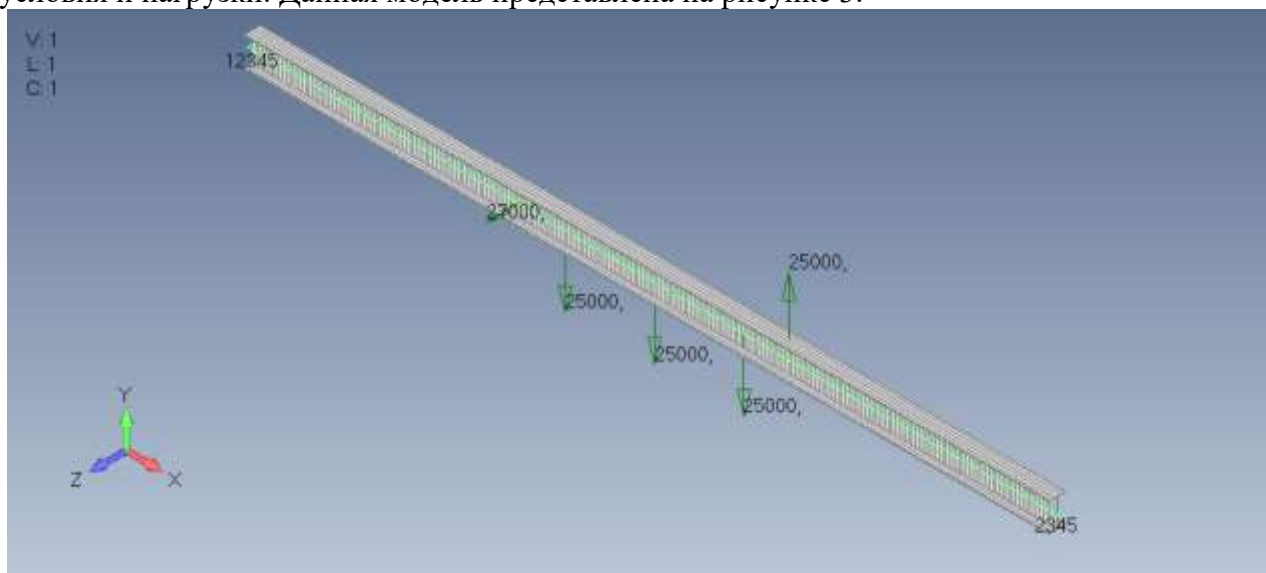


Рис. 3. Конечно-элементная модель в системе Femap

Модель включает в себя 240 линейных элементов типа Beam и 241 узел. В первом приближении мы использовали поперечное сечение с основными размерами сечения для двутавра №22а. Высота сечения задавалась равной $h = 220$ мм, ширина нижней и верхней полок $b = 110$ мм, толщина шейки $d = 5,4$ мм, толщина полок $t = 8,7$ мм (Рис. 4).

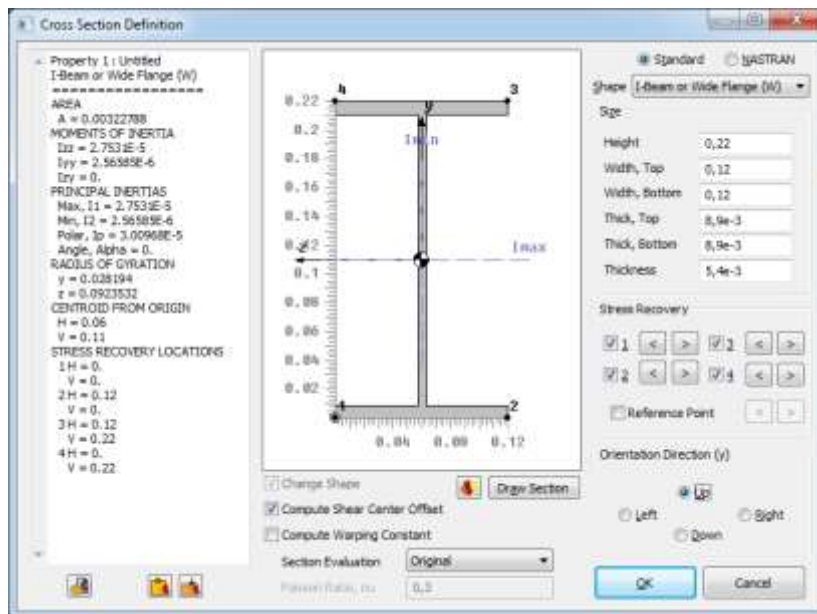


Рис. 4. Формирование поперечного сечения в системе Femap

Однако, при таком способе задания размеров поперечного сечения программа не учитывает особенности скругления углов при переходе от полок к шейке у реальной конструкции двутавра. В связи с этим программа не совсем точно определяет некоторые параметры сечения, например, такие как площадь сечения и момент инерции. Так момент инерции, рассчитанный программой I_x составил $2753,1 \text{ см}^4$ при реальном моменте инерции равном 2790 см^4 . Следовательно, было принято сечение с небольшой погрешностью в 1,32%. Исходя из этого, нами была поставлена задача определить влияние данной погрешности на точность расчетов.

После проведенных расчётов в системе Femap мы получили значения реакций опор, углов поворота, деформаций, построили эпюры моментов, а также напряжений. Результаты расчетов представлены в виде изоповерхностей на рисунке 5.

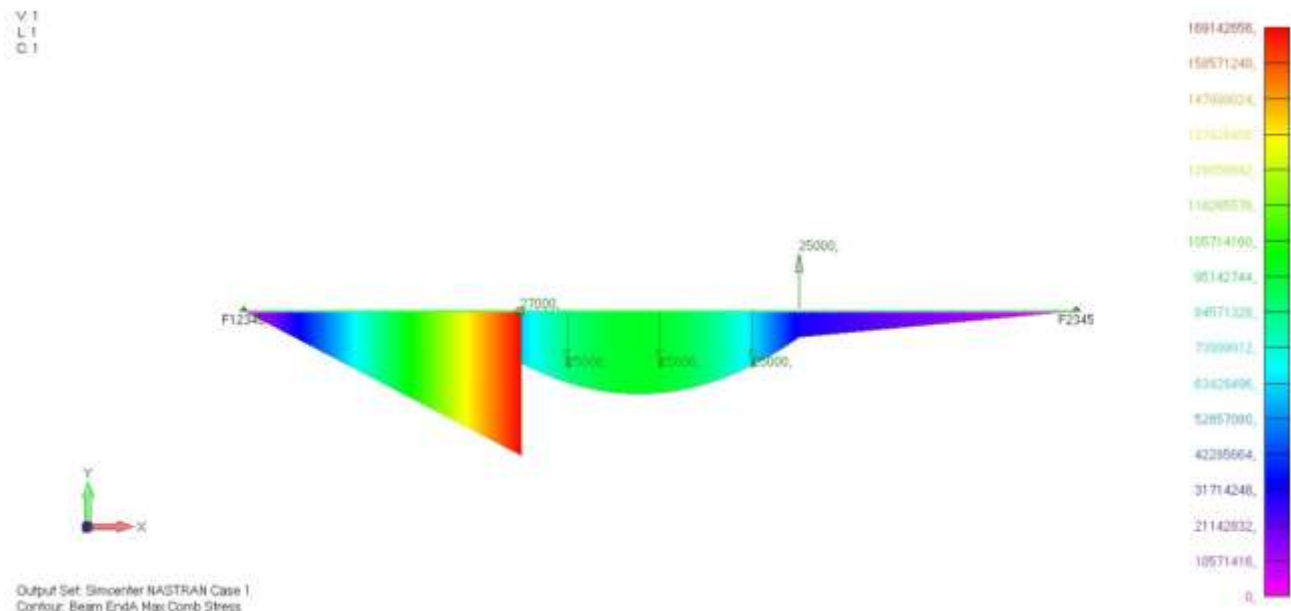


Рис. 5. Эпюра напряжений, Па

При сравнении полученных данных в системе Femap, с данными полученными при расчётах с помощью метода начальных параметров, мы увидели, что есть небольшие неточности в значениях определяемых параметров.

Результаты расчета методом конечных элементов в системе Femap:

–максимальный прогиб $v = -16,01 \text{ мм}$, погрешность 1,27%;

- реакции опор $R_a=21,167$ кН, $R_b=3,833$ кН, погрешности $\approx 0\%$;
- максимальный изгибающий момент $M_x=42,333$ кН*м, погрешность $\approx 0\%$;
- максимальные изгибные напряжения $\sigma_{xy}=169,1$ МПа, погрешность 1,32%.

Можно конечно сказать, что погрешности незначительные и отвечают допустимым значениям, однако, если рассчитывать более сложные балочные системы, то, безусловно, погрешность может накопиться и выйти за пределы допуска. Данные неточности в расчетах связаны с тем, что не совсем корректно задали форму поперечного сечения. Причины этого описаны выше. В нашем случае исправить ситуацию можно двумя способами. Первый способ, который мы хотим предложить будет более трудоёмкий, и заключается в том, чтобы начертить поперечное сечение в CAD системе, например AutoCAD. Создать геометрию необходимо так, чтобы это было представлено, как в ГОСТ, т.е. совсем округлениями, изменениями толщины полочек и т.д. После чего геометрическая модель подгружается в программу Femap. Можно предложить и менее трудоёмкий способ для достижения более точного расчёта. Он заключается в том, что необходимо поменять некоторые параметры поперечного сечения, например задать уточненный момент инерции в системе Femap. Такое действие можно провести при создании свойств конечных элементов. Программа Femap позволяет это сделать вручную. Нам необходимо исправить момент инерции. Значение момента инерции равно 2790 см⁴, что соответствует двутавру №22а. Порядок данного действия представлен на рисунке 6.

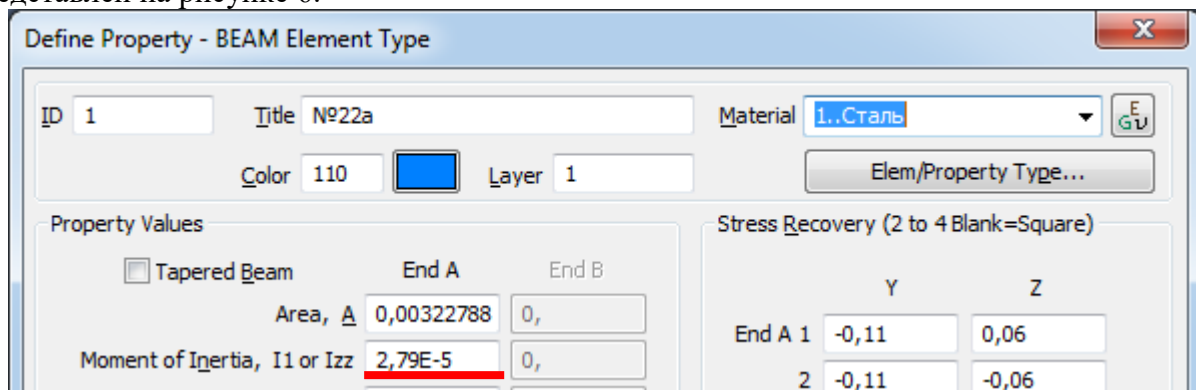


Рис. 6. Изменение момента инерции в системе Femap

После исправления повторно проводим расчёт в программе Femap. Результаты расчетов также представляем в виде изоповерхностей на рисунке 7.

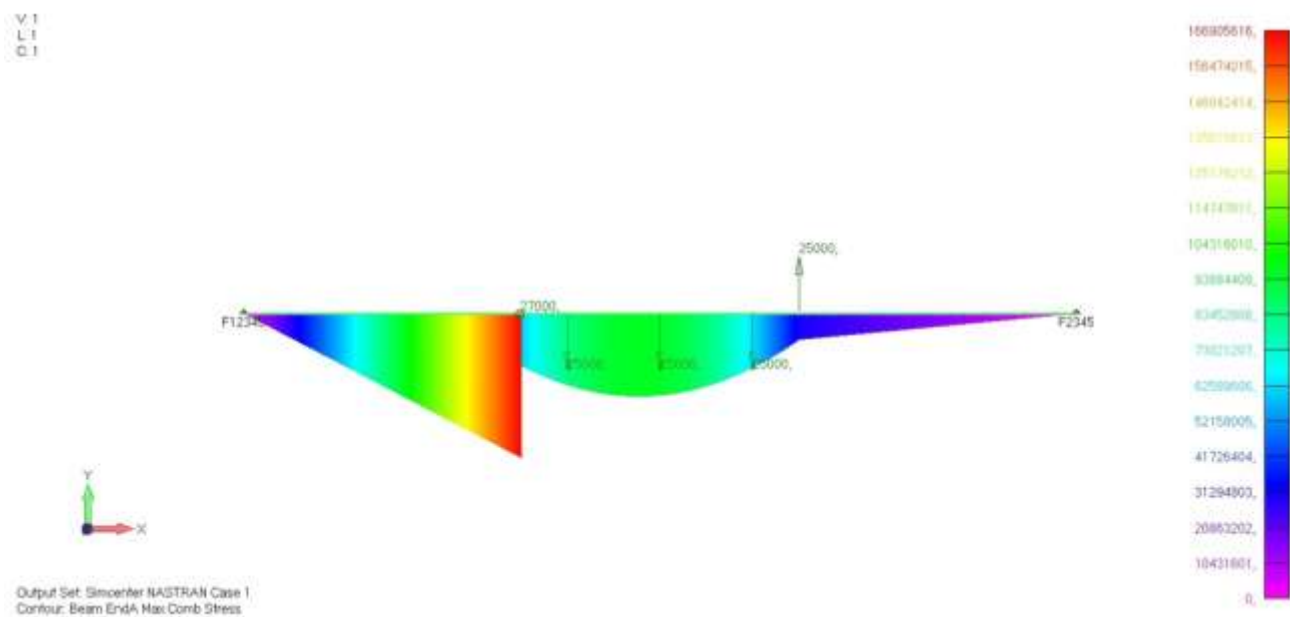


Рис. 7. Эпюра напряжений при уточненном моменте инерции, Па

Результаты расчета методом конечных элементов в системе Femap при уточненном моменте инерции:

- максимальный прогиб $v = -15,81$ мм, погрешность 0%;
- реакции опор $R_a=21,167$ кН, $R_b=3,833$ кН, погрешности $\approx 0\%$;
- максимальный изгибающий момент $M_x=42,333$ кН*м, погрешность $\approx 0\%$;
- максимальные изгибные напряжения $\sigma_{xy}=166,9$ МПа, погрешность 0%.

В связи с полученными результатами считаем, что поставленная цель, выраженная в получении более точных расчётов при использовании компьютерных технологий, достигнута.

Заключение

Правильность расчетов в программе Femap при исследовании балочной системы, остро зависят от точности задания параметров. Здесь имеется ввиду неоднородности исследуемого сечения (выступов, толщина уголков, скачков линейного размера и т.п.). Аналогичные погрешности данного анализа возникают в местах нагрузок и других внешних воздействий – сосредоточенности или резко изменяющихся на поверхности бруса внешних сил, в местах различного рода опор и закреплений. Отметим, что приведённый вывод может использоваться при решении различных задач подобного рода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власов В.З. Балки, плиты и оболочки на упругом основании. [Электронный ресурс]. / В.З. Власов, Н.Н. Леонтьев // М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1960. 491 с. Режим доступа: <https://dwg.ru/dnl/10476>. – (03.05.2021).
2. Дудаев М.А. Матрица жесткости балки Тимошенко в конечно-элементном анализе динамического поведения роторных турбомашин. [Текст] / М.А. Дудаев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – Иркутск – 2014. – № 6 (89). – с. 59-65.
3. Ковенькин Д.А. Исследование напряженно-деформированного состояния подкладок скрепления ЖБР. [Текст] / Д.А. Ковенькин, В.А. Покацкий // В сборнике: Проблемы модернизации инфраструктуры Транссибирской магистрали. Сборник научных трудов. – Чита – 2005. – с. 66-69.
4. Ковенькин Д.А. Особенности эксплуатации креплений ЖБР-65Ш на горно-перевальном участке Слюдянской дистанции пути ВСЖД. [Текст] / Д.А. Ковенькин, Р.Н. Галеев // В сборнике: Проблемы проектирования и строительства железных дорог. Межвузовский сборник научных трудов. – Хабаровск – 2011. – с 64-71.
5. Ковенькин Д.А. Расчет упругих характеристик железнодорожного пути [Текст] / Д.А. Ковенькин, Д.С. Алтынников // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС. – 2018. – Т.1. – с. 471–175.

REFERENCES

1. Vlasov V.Z. Beams, slabs and shells on an elastic base. [Electronic resource] / V.Z. Vlasov, N.N. Leontyev // M.: Izd-vo fiz.-mat. lit-ry, 1960, 491 p. Access mode: <https://dwg.ru/dnl/10476>. – (03.05.2021). [in Russian].
2. Dudaev M. A. Timoshenko beam stiffness matrix in finite element analysis of dynamic behavior of rotary turbomachines. [Text] / M. A. Dudaev // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. - Irkutsk– 2014. – № 6 (89). – pp. 59-65. [in Russian].
3. Kovenkin D. A. Investigation of the stress-strain state of the bond linings ZhBR. [Text] / D. A. Kovenkin, V. A. Pokatsky // In the collection: Problems of modernization of the Trans-Siberian Railway infrastructure. Collection of scientific papers. - Chita-2005. - pp. 66-69. [in Russian].
4. Kovenkin D. A. Features of the operation of the fasteners of the ZhBR-65SH on the mountain-pass section of the Slyudyanskaya distance of the VSZHD route. [Text] / D. A. Kovenkin, R. N. Galeev // In the collection: Problems of design and construction of railways. Interuniversity collection of scientific papers. - Khabarovsk-2011. - with 64-71. [in Russian].

5. Kovenkin D. A. Calculation of elastic characteristics of the railway track [Text] / D. A. Kovenkin, D. S. Altynnikov // Transport infrastructure of the Siberian region. - Irkutsk: Publishing house of IRGUPS. - 2018. - Vol. 1. - p. 471-175. [in Russian].

Информация об авторах

Анциферова Валерия Олеговна – студентка факультета «Строительство железных дорог», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, valeria_anciferova@mail.ru

Артамонова Елена Вадимовна – студентка факультета «Строительство железных дорог», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, elena.artamonova.1999@mail.ru

Для цитирования

Анциферова В.О. РАСЧЕТЫ ПРОЧНОСТИ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМС ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ [Электронный ресурс] / В.О. Анциферова, Е.В. Артамонова // «Молодая наука Сибири»: электрон. науч. журн. – 2021. - № 1(11). – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

For quoting

Antsiferova V.O. CALCULATIONS OF THE STRENGTH OF BEAM SYSTEMS USING COMPUTER TECHNOLOGIES [Electronic resource] / V.O. Antsiferova, E.V. Artamonova // «Young Science of Siberia»: electron. scientific journals – 2021. - № 1(11). – Access mode: <http://mnv.irgups.ru/toma/> free. - Title from the screen. - Yaz. Rus.