

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»



СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Научно-образовательный
центр «МашиноСтроение»



Кафедра теории и
основ конструирования машин

ISSN 2226-2083

МашиноСтроение:

**Материалы XXIII-XXIV международных
научно-практических конференций
по проблемам механики
и машиностроения**

№23

Новокузнецк, 2014

УДК 621.01

М34

М34 МашиноСтроение: Материалы XXIII-XXIV международных научно-практических конференций по проблемам механики и машиностроения. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2014. – №23. – 140 с.

Представлены сделанные на XXIII-XXIV международных научно-практических конференциях доклады о результатах научных исследований, проведенных сотрудниками кафедры теории и основ конструирования машин и других кафедр СибГИУ, а также специалистами производственных предприятий Кузбасса; России и других государств. Излагаются новые элементы теории структуры механических систем, проблемы кинематического анализа и синтеза механизмов, горных и металлургических машин, а также вопросы взаимодействия бурового инструмента с горной породой.

Материалы могут быть полезными для инженеров, аспирантов и докторантов машиностроительного и горного профилей.

Редакционная коллегия:

Дворников Л.Т. – главный редактор,

Жуков И.А. – заместитель главного редактора,

Андреева Я.А. – ответственный секретарь.

Издается с 1991г.

Полнотекстовый доступ к электронной версии журнала возможен на сайте ООО «Научная электронная библиотека»: www.elibrary.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

Дворников Л.Т. Некоторые суждения о творческом наследии О.Д. Алимова по случаю 90-летия со дня его рождения.....	4
Жукова Е.В., Жуков И.А., Подгорных Л.Б. Историческая ретроспектива исследований проблем теории продольного удара, применительно к машинам технологического назначения.....	21
Попугаев М.Г., Подгорных Л.Б. Простейшие механизмы в истории науки и техники.....	35
Дворников Л.Т. Принципиальные уточнения теории кинематических пар.....	45
Дворников Л.Т., Максимова Е.Н. Кинематическое и кинетостатическое исследование механизма перекатывающихся рычагов №1710 Артоболевского И.И.	74
Адамович Н.О. Особенности исследования динамики механизмов с учетом упругости звеньев.....	84
Князев А.С. Задача о нахождении сосредоточенных сил, действующих на звено поддержки, при заданной нагрузке.....	91
Нагибин А.В. Обоснование метода вывода уравнения практической профильной поверхности кулачка.....	96
Шапошников И.-И.Д. Продольный удар. Три внедрения лезвия в горную породу.....	104
Куклин С.А. Оценка формы породоразрушающего инструмента ..	113
Цвигун В.Н., Корнеев В.А., Кузнецов В.Н., Нефедов В.М., Корнеев П.А. Изучение механизмов развития питтинга, спаллинга и других контактно-усталостных дефектов в рельсах.....	121
Доильницын С.П., Попов И.И., Астанина А.А., Рыбак Е.А. Возможное влияние луны на поведение Земли в системе «Земля-Луна».....	128

УДК 621.01

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАЗВИТИЯ ПИТТИНГА, СПАЛЛИНГА И ДРУГИХ КОНТАКТНО-УСТАЛОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ В РЕЛЬСАХ

**Цвигун В.Н., Корнеев В.А., Кузнецов В.Н.,
Нефедов В.М., Корнеев П.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Ключевые слова: трещина, усталость, деформация, рельс.

Показано, что наиболее вероятное направление роста подповерхностной усталостной трещины, вдоль (параллельно) поверхности качения (с рысканием под небольшим углом от преимущественно горизонтального направления). Эта продольная трещина (спаллинг – трещина) приводит к отслаиванию и выкрашиванию слоями, отделению сжатого перенаклепанного поверхностного слоя. Глубина этой трещины от $0,5a$ до a , где a – радиус контактной площадки. При нормальном усталостном нагружении трещина удлиняется (максимальные напряжения) слева и справа от вертикальной оси приложения нагрузки, а при качении – происходит рост трещины в направлении качения под передним краем контактной площадки на глубине менее a . Более глубокие и мелкие продольные трещины имеют более низкие величины K_1 и K_2 (коэффициенты интенсивности напряжений).

Часть 1. О направлении роста продольной подповерхностной трещины под воздействием контактной нагрузки.

Исследования по взаимодействию инструмента – индентора (например шара) с полуплоскостью показывают, что образование и рост трещин вблизи контактной плоскости (КТГ) можно разделить на 3-4 группы трещин [1-4]:

а) конические трещины Герца (КТГ), которые хорошо видны на стеклах, керамике, хуже видны на граните, мраморе, практически не видны на металлах при однократном нагружении. Но циклическое вдавливание и на металлах приводит к образованию КТГ. КТГ имеют симметричный вид, когда нагрузка направлена сверху вниз и ассиметричный, когда на индентор действуют вертикальная и горизонтальная силы. Такая картина наклона КТГ происходит и при качении шара по стеклу и т.д.

Рост КТГ очень быстро затухает и прекращается (если они не привели к появлению радиальных трещин на глубине), поскольку область радиальных растягивающих напряжений очень мала и ограничена со всех сторон сжимающими напряжениями; б) игрек трещины [3], они образуются на поверхности при нагружении острым индентором, а под шаром на глубине более $0,5a$ (« a » - полуширина КП). Почему три трещины? Это, по-видимому, медианная (первоначальная) зигзагообразная трещина, рассекая подповерхностные слои материала под контактной площадкой (под давлением сверху) находит третью точку опоры (устойчивое состояние) и далее уже материал ломается по схеме – игрек, между этих трех опор; в) радиальные подповерхностные трещины хорошо видны при вертикальном нагружении поликарбоната шаром. Они стартуют вне КП шара, на глубине около $0,5a$ и расходятся от области значительных растягивающих напряжений (рисунок 1), вдоль или поперек поверхности материала. Некоторые из этих трещин могут потом объединиться с трещинами типа «б»; г) приходящие из глубины материала (на пластинах небольшой толщины) поперечные трещины от изгиба детали (например, напесованный бандаж колеса скоростного поезда (Германия) разрушился от трещины, которая началась от внутренней окружности бандажа), т.е. изгибные растягивающие напряжения быстро формируют усталостную трещину от неровностей, крупных рисок. Такие трещины от циклического изгиба быстро образуются и растут в направлении контактной площадки.

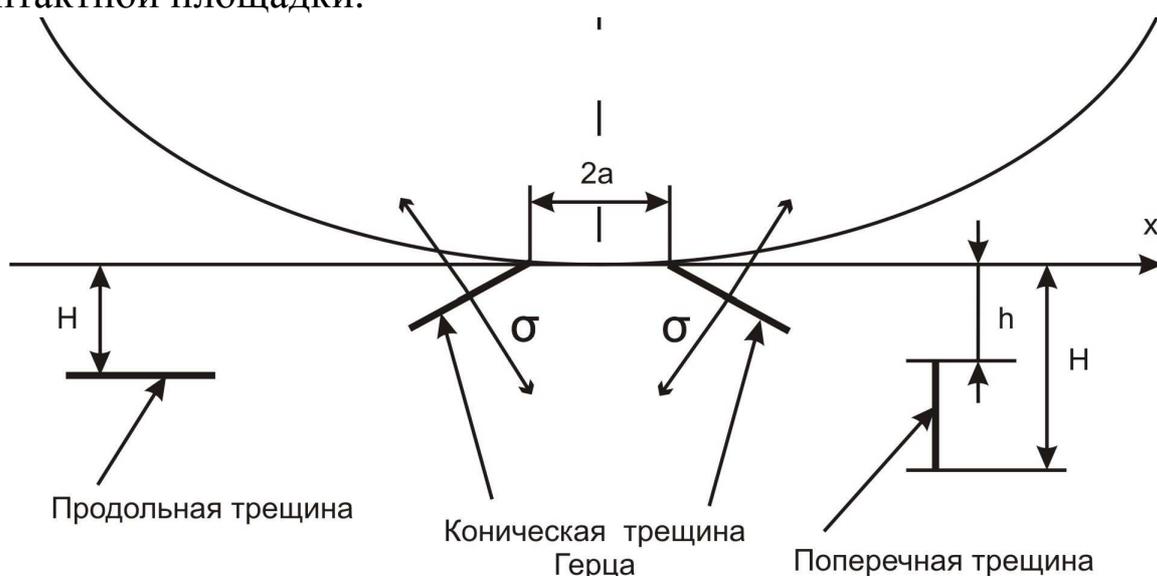


Рисунок 1 – Схема нагружения образца с продольной трещиной на глубине H

Усталостные подповерхностные трещины растут под воздействием смеси $\frac{K_1}{K_2}$ у вершины усталостной трещины.

Коэффициенты интенсивности напряжений K_1 (отрыв) и K_2 (сдвиг) и угол розетки изохром сильно зависят от места и расстояния от вершины трещины до КП. Здесь действуют локальные контактные напряжения, а их взаимодействие с продольной и поперечной трещинами под поверхностью катания, например рельса, актуально и недостаточно изучено. Нет компьютерных расчетов трехмерного роста контактных трещин.

Лабораторные исследования зоны контакта рельс-колесо проводили на плоских образцах из эпоксидной смолы, позволяющих решить плоскую задачу качения колеса по рельсу. Установка представляет собой механизм перемещения фотоупругой пластины под нагруженным колесом, диаметром 240 мм, и размещена на столе координатно-синхронного поляриметра КСП-10. Длина площадки контакта колесо-пластина – 8 мм, а все измерения проведены относительно полудлины этой зоны $a=4$ мм. В образце размером $180 \times 15 \times 1,2$ мм были сделаны подповерхностные продольные и поперечные трещины (наращивание надреза в обе стороны от отверстия проводились проволокой $\varnothing 0,1$ мм с алмазной пастой). Глубина залегания трещин была 1, 2, 4 и 6 мм ($0,25a$, $0,5a$, a , $1,5a$), длина их в ходе исследования увеличивалась от 2-ч до 4 мм (такое небольшое удлинение однако незначительно меняет результаты опытов).

В ходе исследования были рассмотрены два случая:

а) образец с подповерхностной трещиной располагался на сплошном основании;

б) образец установлен на двух опорах (имитировали прогиб рельса в процессе эксплуатации), когда от прогиба образца в верхней части пластины действуют продольные напряжения сжатия, а длина площадки контакта немного увеличивается.

Картины изохром, возникающие в окрестности кончика трещины фиксировали в поляризованном свете при остановке колеса и проводили расчеты по Санфорду [5].

В результате обсчета картин изохром, зафиксированных в кончике трещины при контактном нагружении, были получены следующие результаты:

а) образцы с горизонтальными подповерхностными трещинами на сплошном основании: при подходе КП к вершине горизонтальной подповерхностной трещины на расстояние ближе $2a$ начинается рост смеси $\frac{K_1}{K_2}$ (рисунок 3). Здесь и ниже это расстояние от центра зоны контакта «колесо-рельс» до кончика трещины. При дальнейшем продвижении зоны контакта количество петель узора изохром возрастает и происходит их разворот относительно центра-кончика трещины по часовой стрелке (рисунок 2).

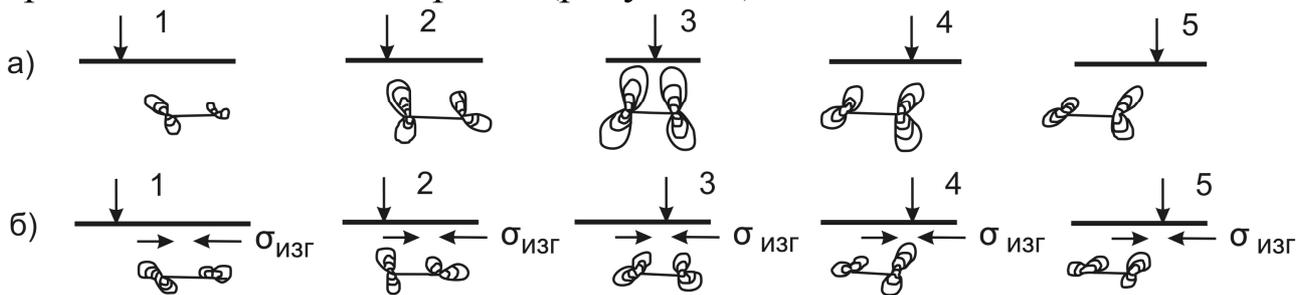


Рисунок 2 – Вид изохром при контакте колесо-пластина с подповерхностной трещиной. Контактная площадка находится на разном расстоянии от вершины трещины. а) пластина расположена на сплошном твердом основании; б) случай, когда пластина опирается на две опоры, а трещина равноудалена от опор. Добавляются напряжения от изгиба пластины.

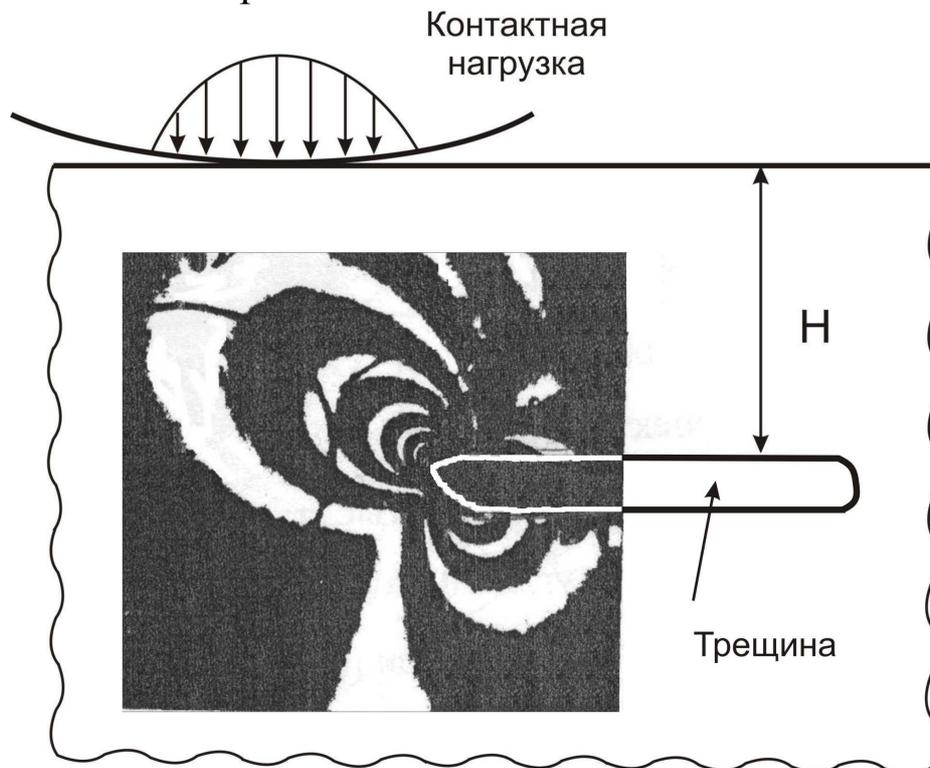


Рисунок 3 – Вид изохром при контакте колесо-пластина с подповерхностной продольной трещиной (случай на рисунке 2, б)

На расстоянии « a » и больше от переднего кончика трещины, напряженное состояние у вершины трещины характеризуется минимальными по величине значениями K_1 и K_2 . При этом K_2 несколько превосходит K_1 (всего одна две петли изохромы).

При дальнейшем продвижении пятна контакта, $K_1=K_2$, это на расстоянии $0,5-0,5a$ впереди кончика трещины.

На расстоянии от $0,5a$ до 0 пятно контакта накатывается на кончик трещины и происходит быстрое увеличение составляющей K_1 , а $K_2=5-10\%$. Это самое высокое значение K_1 , т.е. трещина будет подрастать горизонтально, а зигзаг вызван незначительной величиной K_2 . При глубинах залегания трещины от $0,5$ « a » до « a », K_1 максимальны, а на меньших и больших глубинах ($0,25$ « a »; $1,5$ « a »), значения K_1 и K_2 значительно меньше, т.е. имеется определенный диапазон глубины залегания продольной трещины, где создаются наиболее благоприятные условия для трещинообразования.

Графики K_1 и K_2 симметричны относительно середины трещины, т.е. отсутствие горизонтальных сил создает равные условия роста левой и правой вершинами.

б) образцы с горизонтальными подповерхностными трещинами, расположенными между двух опор. В этом случае влияние изгиба пластины на распределение K_1 и K_2 у вершины трещины выявило, что общий вид кривых (рисунок 4), подобен случаю, когда пластина установлена на сплошное основание, но в случае изгиба величина K_2 всегда выше на $10-15\%$. Внутри контактной площадки только приповерхностные трещины любой ориентации закрываются (всестороннее сжатие), а вблизи КП все эти трещины обычно раскрываются. Ниже, под КП, трещины открываются только на большей глубине, или там, где действуют высокие подповерхностные продольные и поперечные деформации удлинения (в условиях всесторонних неравных сжимающих напряжений), а также, при разгрузке.

В заключении отметим, что продольная подповерхностная трещина может устойчиво расти обеими вершинами вдоль по типу K_1 , а фаза ее удлинения совпадает с нахождением КП вблизи вершины (расстояние $0,5a$); есть канал максимальной ее скорости роста (на глубине $0,5a - a$). Создание продольного сжатия (изгибом пластины) уменьшает величину K_1 .

Ситуации, которые могут облегчать и приводить к появлению и росту продольных трещин: разогрев при контактном быстром нагружении и далее появление белых закаленных слоев (слоистости); износ скольжением; цепочки неметаллических включений, которые вместе работают как одна трещина; а также при процессах обкатки (накатки) или поперечной прокатки металлов – удлинение деформированного слоя металла ведет к отрыву его от нижних слоев при образовании подповерхностной трещины.

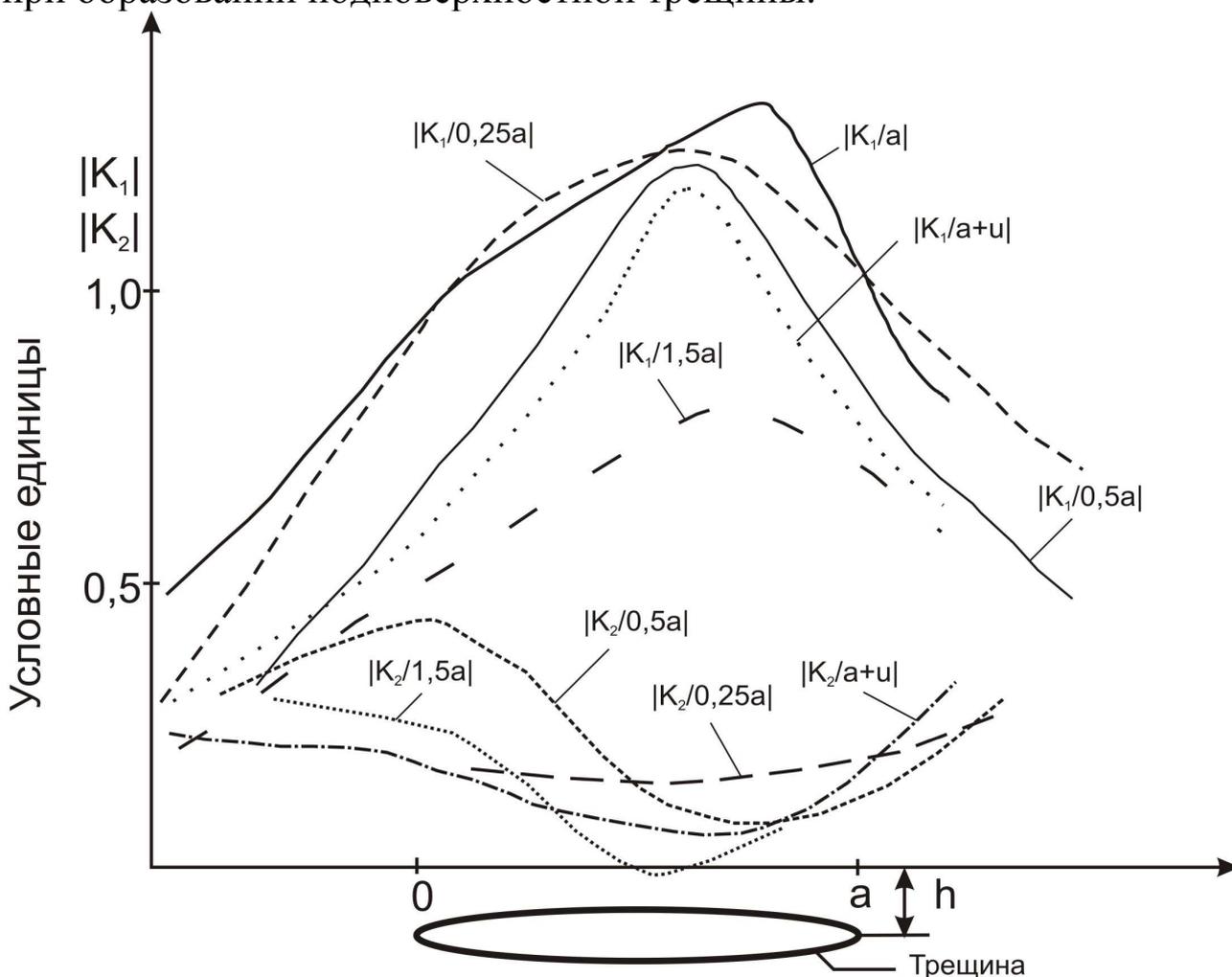


Рисунок 4 – Изменение коэффициентов интенсивности напряжений K_1 и K_2 у вершины продольной подповерхностной трещины с изменением расстояния до контактной площадки. K_1 – отрыв, K_2 – сдвиг. K_1/a = глубина трещины a (4 мм), $K_1/a + u$ (глубина трещины a плюс изгиб образца)

Библиографический список

1. Джонсон К.Л. Механика контактного взаимодействия – М.: Мир: 1989. – 510 с.
2. Tsai Y.V., Kolsky H. – Relation between of cone crack // JMPS. – 1967. – V. 15. – P. 263-270.
3. Tsai Y.V., Kolsky H. Surface wave propagation for linear viscoelastic solids // JMPS. – 1968. – V. 16, №2. – P. 99-110.
4. Lawn B.R.. Competing fracture models in brittle materials // J. Biomed. Mater. – 2005 – №73(b). – P. 186-193.
5. Sanford R.J. A General Method For Determining mixed mode stress factors from isochromic fringe patterns // Eng. Fract. Mech. – 1979. – V. 11. – P. 621-633.

STUDY OF THE MECHANISMS OF PITTING, SPALLING AND OTHER ROLLING CONTACT FATIGUE FRACTURE IN RAILS

Tsvigun V.N., Korneyev V.A., Kuznetsov V.N., Nefedov V.M., Korneyev P.A.

Keywords: crack, fatigue, strain, rail.

It is shown that the most likely direction of subsurface fatigue crack growth along (parallel to) the rolling surface (yaw with a slight angle to the predominantly horizontal direction). This longitudinal crack (spalling – crack) leads to flaking and chipping layers separating compressed perenaklepannogo surface layer. The depth of this crack from $0,5a$ to a , where a – radius of the contact area. Under normal loading, the fatigue crack lengthened (maximum tension) on the left and right of the vertical axis of the load application, and rolling – the crack growth takes place in the rolling direction under the front edge of the pad to a depth less than a . More deep and shallow longitudinal cracks have lower values K_1 and K_2 (stress intensity factors).

Научное издание

МашиноСтроение:

Материалы XXIII-XXIV международных
научно-практических конференций
по проблемам механики
и машиностроения

№23

Верстка и корректура: Жуков И.А.
Разметка и обработка форматов: Андреева Я.А.

Подписано в печать 08.12.14г.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 8,28. Уч.-изд. л. 8,80. Тираж 300 экз. Заказ №757.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ