

УДК 699.841

О.М. Турганбаев

**УДАРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ДЛЯ УЧЁТА  
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

*Ошский технологический университет*

Аннотация. Настоящая статья рассматривает вопросы расчета дополнительных напряжений ударного воздействия землетрясения. В статье приведены основы методики учета ударного воздействия землетрясения и расчета основания, конструкций зданий и сооружений на это воздействие.

Ключевые слова: сейсмоактивный пояс, ударная волна, упругости материала, сейсмический коэффициент, касательные напряжения, сейсмический удар, дополнительные напряжения.

UDC 699.841

O.M.Turganbaev

**ACCOUNT OF ADDITIONAL TENSIONS OF SHOCK INFLUENCE OF  
EARTHQUAKE**

*Osh Technological University*

Abstract. The real article examines the questions of calculation of additional tensions of shock influence of earthquake. To the article bases of methodology of account of shock influence of earthquake and calculation of founding are driven, constructions of building and building on this influence.

Keywords: seismoactive belt, shock wave, elasticity of material, seismic coefficient, tangents tension, seismic blow, additional tension.

Землетрясение - проявление внутренних сил Земли. При каждом землетрясении в очаге может выделяться огромное количество кинетической энергии. Момент высвобождения энергии тектонических процессов связывают с движениями тектонических блоков или плит, на которые разбита земная кора: в одних случаях плиты раздвигаются, в других - сдвигаются или скользят одна относительно другой. На границах между плитами происходит деформация земной поверхности с выделением накопленной энергии. Землетрясения подобного типа называются *тектоническими*. Иногда случаются землетрясения во внутренних частях плит - так называемые *внутриплитовые* землетрясения. Они возникают из-за развития в плитах деформации, вызванной давлением на их краях.

К основным плитам земной коры относятся Индийская, Тихоокеанская, Американская, Антарктическая, Африканская, Евразийская. Всего насчитывается около 20 плит,

на которых расположены континенты, моря, океаны. Зоны стыков этих плит известны. Именно там расположены области наиболее активных сейсмических явлений.

Главный пояс сейсмичности, на который приходится около 80% мировой сейсмической энергии (свыше 95% энергии промежуточных и глубокофокусных землетрясений), узкой полосой обрамляет Тихий океан. Предельно высокая сейсмичность в этой области вызвана поддвигом холодной океанической литосферы под материка, окружающие океан, и окраинные моря.

Второй крупный сейсмоактивный пояс - Евроазиатский - протягивается с северо-запада на юго-восток и совпадает со складчатыми горными сооружениями альпийского возраста. К нему примыкает также ряд сейсмоактивных областей новейшей тектонической активизации. В последнее время развиваются представления о том, что землетрясения в этом поясе происходят в результате давления Евроазиатской плиты с одной стороны и Индийской, Аравийской и Африканской плит - с другой.

Третий разветвлённый и протяжённый сейсмоактивный пояс приурочен к системе срединно-океанического хребта и характеризуется относительно слабой сейсмичностью, связанной с раздвижением литосферы. Землетрясения небольшой энергии возникают в земной коре и вне перечисленных поясов.

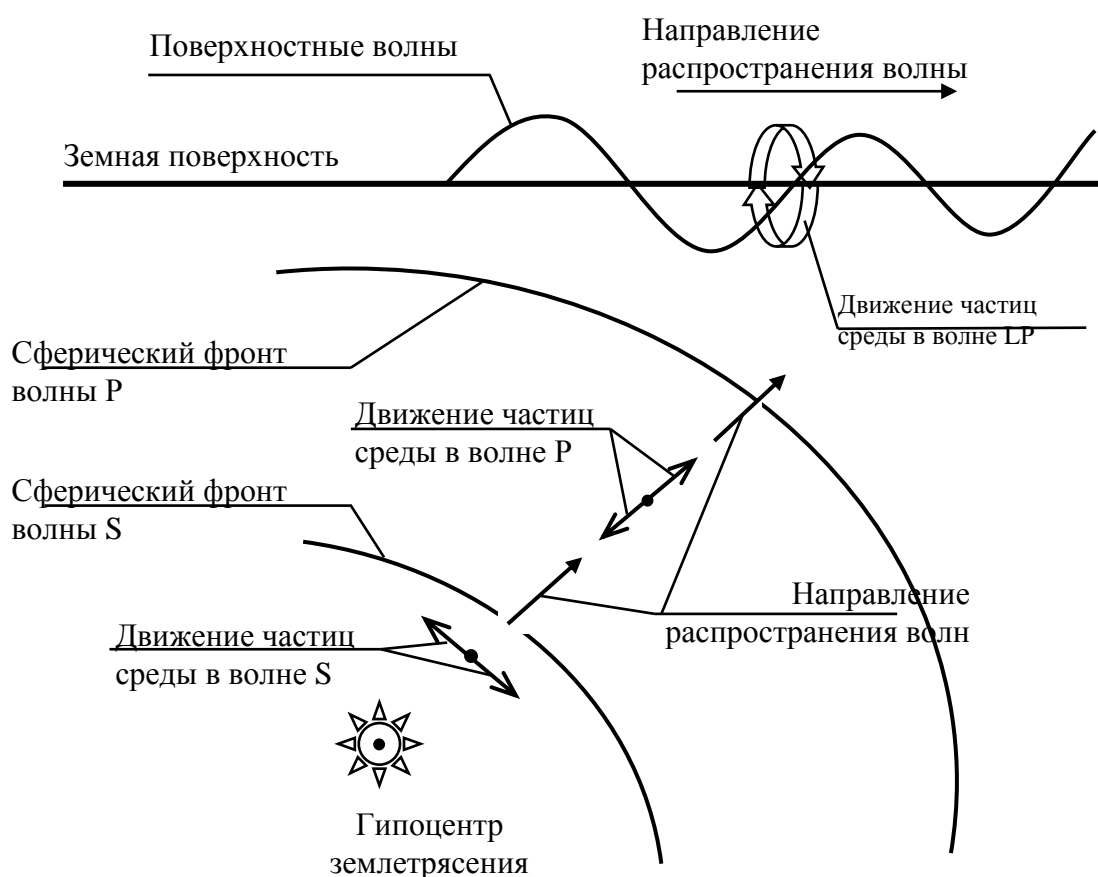


Рисунок 1 - Схема распространения волн землетрясения

Ударная волна, выходя на поверхность Земли, отражается, образуя волну разрежения. Взаимодействие ударных волн с волнами разрежения приводит к возникновению разрывов поверхности, относительному смещению, вспучиванию и проседанию почвы, образованию т.н. «земляных волн» и пр. явлений, объединяемых общим понятием «сильные движения» при землетрясении. Другой, используемый в сейсмологии термин, соответ-

ствующий этим явлениям, носит название макросейсмика.

Такой выход энергии может быть уподоблен удару плит друг о друга. Следствием этого в материале горных пород являются волны напряжений сжатия и среза, которые подобно звуковым волнам в упругой среде распространяются за пределами места разрушения пород (гипоцентра) во все стороны с большими скоростями, составляющими порядка 3–5 км/с (в зависимости от вида пород) [1-2]. Достигая поверхности земли, они вызывают вертикальное перемещение верхнего слоя Земли (рис. 1).

Существует два основных типа волн:

1) объемные, распространяющиеся в объеме Земли. Они делятся на два подвида:

- продольные волны P (от латинского слова *primus* первое);
- поперечные волны S (*secundus* второе).

2) поверхностные, распространяющиеся по поверхности Земли наподобие волн на воде. Они также делятся на два подвида:

- волны Лява (LQ);
- волны Релея (LR).

Волны P (рис.2, а) более быстрые и линейно распространяются от гипоцентра к поверхности земли. Они способны проходить через твердые горные породы, через жидкости. Из-за сходства их со звуковыми волнами они выходят из глубин Земли к ее поверхности могут передаваться в атмосферу в виде звуковых волн, воспринимаемых животными и людьми, если их частота окажется в интервале слышимости (более 15 Герц) [3-4].

Более медленные волны S сдвигают частицы вещества в стороны под прямым углом к направлению их распространения (рис. 2, б). В жидкостях такие волны не возникают, т. е. через воду волны S не передаются.

Волны Лява (LQ), в сущности, то же самое, что и поперечные волны без вертикальных смещений. Они заставляют частицы грунта колебаться из стороны в сторону в горизонтальной плоскости, параллельной поверхности земли, но под прямым углом к направлению своего распространения [5-6], как это показано на рис. 2, в. Воздействие волн Лява состоит в горизонтальных колебаниях, которые передаются основаниям построек и, следовательно, могут вызвать их разрушение.

Волны Рэлея (LR) захватывают частицы материала и движут их по вертикали и по горизонтали в вертикальной плоскости, ориентированной по направлению распространения волн [7-8]. Как показано на рис. 2, г каждая частица породы при прохождении волны движется по эллипсу.

Скорость распространения волн зависит от вида горных пород, модуля упругости  $E$  горных пород, модуля сдвига  $G$ , плотности  $\rho$  [9-10].

Так, для продольных волн P скорость распространения  $V_p$  можно определить по формуле:

$$V_p = \sqrt{(E + \frac{4G}{3})/\rho}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль деформации материала;  $G$  – модуль сдвига материала;  $\rho$  – плотность материала.

Для гранита эта скорость составит 5,5 км/с, а для воды 1,5 км/с.

Скорость поперечных волн S можно определить по формуле:

$$V_s = \sqrt{G/\rho}. \quad (2)$$

Для гранита  $V_S$  равна 3,0 км/с, а для воды – 0 км/с.

Скорость распространения волн Рэлея лежит в пределах:

$$V_{LR} < 0,92 V_{S1}. \quad (3)$$

В слоистых средах волны Лява имеют диапазон:

$$V_{S1} < V_{LQ} < V_{S2}. \quad (4)$$

В формулах (3) и (4)  $V_{S1}$  и  $V_{S2}$  – скорости поперечных волн S в поверхностном и нижележащем слоях соответственно.

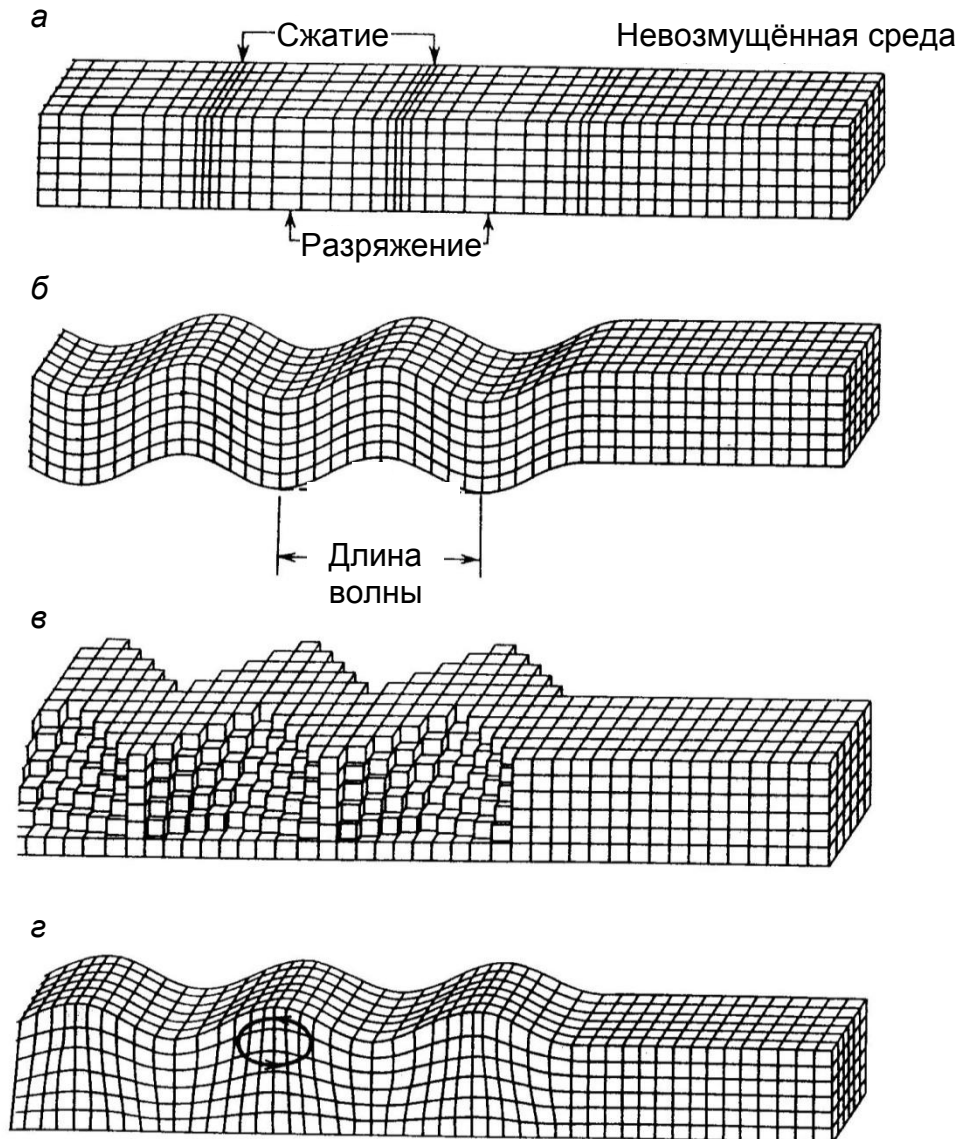


Рисунок 2 - Основные формы колебаний грунта сейсмических волн): а – продольные P; б – поперечные S; в – волны ЛяваLQ; г – волны Рэлея LR

Скорости также связаны с волновыми характеристиками:

$$V = \lambda / T, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – длина волны и T – период колебаний.

Землетрясения оцениваются инструментально путем записи смещения почвы – сейсмограмм и ускорения колебания почвы – акселерограмм. Эти записи делаются соответствующими приборами [11-12]. В последнее время появилось мнение, что эти записи не фиксируют волновые движения грунта, а отражают вторичные движения, являющиеся собственными колебаниями масс приборов, которые возникают после прохождения ударных волн землетрясения. Следовательно, информация, снятая с этих приборов, достоверно дает только сведения о скорости распространения сейсмических волн [13-14]. Однако в практике современных расчетов сейсмостойкости зданий показание приборов сейсмостанций все же рекомендуется использовать как исходный фактический материал.

Важной характеристикой землетрясения является магнитуда землетрясения  $M$ , оценивающая силу землетрясения и выражающаяся десятичным логарифмом амплитуды наибольшего колебания грунта зафиксированного сейсмографом с учетом стандартной поправки на расстояние от эпицентра землетрясения [10; 15]. Величина ее колеблется от 3 до 9. Так, при увеличении магнитуды на единицу, энергия, излучаемая очагом сейсмических волн, увеличивается в 100 раз.

В проектной практике сила землетрясения оценивается баллами по так называемой сейсмической шкале. У нас принято оценивать землетрясения по двенадцатибалльной шкале геофизического института АН СССР (аналогичной шкале Меркалли–Канкани–Зибберга). Для строительных целей используется часть этой шкалы в диапазоне от 6 до 9 баллов, представленной в ГОСТ 6249-52. Существует соответствие магнитуды и балльности землетрясений, например, землетрясению в 9 баллов соответствует магнитуда 7,1 и более.

Практически для оценки балльности возможных землетрясений в нормах приведены списки населенных пунктов и карты с указанием балльности и вероятности землетрясений. Для целого ряда мест разработаны карты микросейсмического районирования, т. е. более детальные карты, учитывающие наличие тектонических разломов, трещин и т. д.

При ударе и мгновенной сдвижке грунта происходит свободный сдвиг основания конструкции здания в условиях сопротивления сил инерции надземной части здания, которым ещё не передалось в силу упругости материала надземной части здания ускорение движения земной поверхности. В результате такого мгновенного сдвига появляются волны изгибных напряжений в материале надфундаментной части здания [16-17]. Их можно определить по расчётной схеме работы балки с перемещением защемлённого в основании конца и шарнирным опиранием верхнего конца, как показано на рисунке 3.

Величина усилий  $M$  и  $Q$  определяется путём умножения ординаты этих усилий от единичного перемещения  $\Delta = 1$  на конкретное перемещение  $\Delta_{гр}$  от фактического удара, принимаемого пропорционально ускорению и соответственно скорости движения грунта в зависимости от балльности и времени импульса удара по формуле:

$$V_{гр} = \gamma \cdot t, \quad (6)$$

где  $\gamma$  – ускорение движения грунта при землетрясении;  $t$  – продолжительность импульса действия удара.

При этом, т.к. перемещение происходит в форме удара, надо скорректировать его введением сейсмического коэффициента в виде отношения ускорения перемещения к ускорению силы тяжести [18-19].

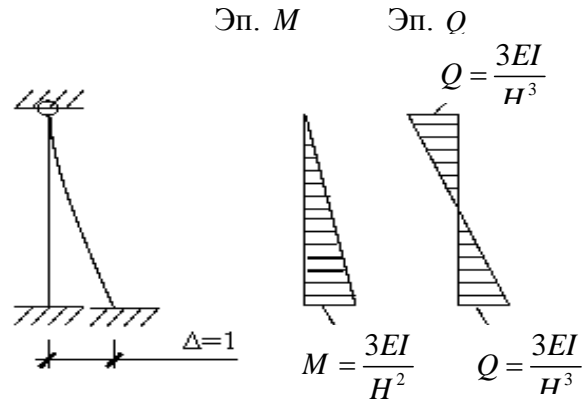


Рисунок 3 - Расчетная схема при сдвиге основания

Усилия определяются для сечений на уровне обреза фундамента и далее на расчётных сечениях в уровнях перекрытий. После определения усилий величины нормальных и касательных напряжений определяются по известным формулам:

$$\sigma_{из}^i = \frac{M}{I_{пр}} y_i; \quad (7)$$

$$\tau_{из}^i = \frac{QS_{пр}}{bI_{пр}}, \quad (8)$$

где  $I_{пр}$ ,  $S_{пр}$ ,  $b$ ,  $y_i$  – характеристики расчётных горизонтальных сечений надфундаментной части здания.

В процессе ударного воздействия в сечениях конструкций здания могут возникать дополнительное сдвигающее напряжение от кручения, вызванного депланацией (искривлением) сечений вертикальных плоских элементов (стен) при их изгибе в вертикальных плоскостях, что вызывает появление касательных напряжений кручения, которые определяются по формуле:

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_{кр}}, \quad (9)$$

где  $W_{кр}$  – крутильный момент сопротивления;  $M_{кр}$  – крутящий момент, вызывающий касательные напряжения в сечениях.

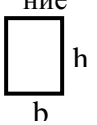
Крутильный момент сопротивления можно определить по формуле:

$$W_k = b^2 h \alpha, \quad (10)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от отношения сторон сечения и принимаемый из табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициента  $\alpha$

Сечение	$h/b$	1	1.5	2	3	4	6	8	10
	$\alpha$	0.208	0.346	0.493	0.801	1.150	1.789	2.456	3.123

Кручение при сейсмическом ударе может возникнуть за счет эксцентриситета действия сдвигающей силы ( $e$ ) относительно центра тяжести сечения её надфундаментной части (рис. 4).

При этом крутящий момент определится как

$$M_{кр} = Ne. \quad (11)$$

Силу  $N$  можно определить, исходя из конкретной площади передачи удара от грунта фундаменту и нормального напряжения в бетоне:

$$N = b_{ф} h_{заг} \sigma_b. \quad (12)$$

где  $h_{заг}$  – величина заглубления фундамента в грунт.

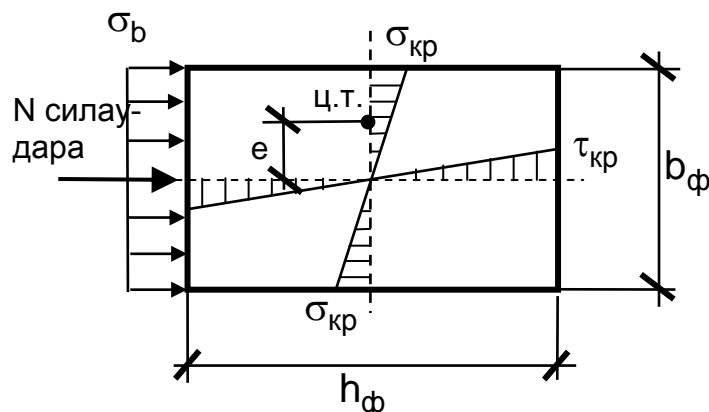


Рисунок 4 - Схема поперечного сечения над фундаментной частью сооружения

Касательные напряжения кручения  $\tau_{кр}$  следует определить для точек в середине сторон  $h$  и  $b$  сечения.

Кроме дополнительных напряжений от удара и мгновенного сдвига в конструкциях естественно имеются напряжения от основных нагрузок (собственного веса, полезных нагрузок и т. д.) [20-22]. Нормальные напряжения от собственного веса конструкций и полезной нагрузки определяются как для центрально нагруженных элементов в виде отношения нагрузки к площади сечения конструкции:

$$\sigma_{осн} = \frac{\sum N_i}{\sum F_{констр}}, \quad (13)$$

где  $\sum N_i$  – сумма вертикальных нагрузок;  $\sum F_{констр}$  – сумма площадей сечения конструкций.

Касательные напряжения от этих нагрузок обычно в сечениях не возникают, и можно считать, что  $\tau_{осн} = 0$ .

В период первого цикла ударного воздействия землетрясения (активный удар) напряжения суммируются в соответствии с законами теории напряжённого и деформированного состояния материалов конструкции. Суммарные нормальные напряжения будут определяться по формуле

$$\sum \sigma = \sigma_{уд} + \sigma_{осн} \pm \sigma_{из} \leq R_B (R_{Вт}). \quad (14)$$

Суммарные касательные напряжения:

$$\sum \tau = \tau_{уд} + \tau_{из} + \tau_{кр} \leq R_{Вт}. \quad (15)$$

Кроме того, необходимо оценить эквивалентные главные напряжения, как результирующие по III теории прочности для материалов:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \tau / 2 \pm \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq R_b(R_{bt}). \quad (16)$$

Таким образом, несмотря на нехватку точных значений некоторых параметров землетрясений (время толчка, скорость перемещения грунта), а также на простоту подхода к расчёту, эта методика позволяет оценить напряжённое состояние материала конструкций в различных точках зданий и сооружений.

Этот расчет предлагается производить дополнительно к расчету, предусмотренному в СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах». При таком подходе к расчету и проектированию сооружений их работа будет обеспечена более надежно. Однако необходимо иметь в виду, что напряжения, полученные при расчёте на удар, имеют большие значения, чем напряжения, полученные при расчёте на колебание, следовательно, при меньшей балльности землетрясения возможна ситуация, когда по нормативному расчёту здание проходит проверку на прочность, а по расчёту на удар не проходит. Кроме того, предполагаемые области разрушений в расчётах на удар и на колебание находятся в различных местах.

#### Список литературы

1. Акжолов М.Ж., Алабужев П.М., Алиев А.В., Артищева Л.М., Бойко Л.Г., Горский Н.Л., Гришин Ю.А., Давыдова И.М., Егоров М.Ю., Еникеев И.Х., Кельберг В.М., Комочков В.А., Кондрашев В.В., Косовцев П.И., Котельников В.А., Котин А.Е., Круглов М.Г., Липанов А.М., Макаров В.И., Маслова О.Г. и др. Исследование актуальных проблем механики и машиностроения // Численное исследование актуальных проблем машиностроения и механики сплошных и сыпучих сред методом крупных частиц / Москва, 1995. Том 5 Механика. Экология.
2. Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г. Разработка модели решения обратной задачи вертикального зондирования ионосферы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 2 (72). С. 109-113.
3. Санников В.Г., Корольков А.А., Герасименко Х.В. Метод совместного оценивания параметров и фильтрации зашумленной речи в голосовых кодеках // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 12. С. 71-73.
4. Щеклеин С.Е., Коржавин С.А., Данилов В.Ю., Велькин В.И. Экспериментальное исследование эффективности комбинированной системы солнечной теплогенерации // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 77-81.
5. Дулепов Д. Е., Тюндина Т. Е. Расчет несимметрии напряжений СЭС // Вестник НГИЭИ. 2015. № 4 (47). С. 35–42.
6. Меньшикова Е.А. Речные осадки в условиях техногенного воздействия // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 7. С. 183-185.
7. Еникеев И.Х., Кузнецова О.Ф., Полянский В.А., Шургальский Э.Ф. Математическое моделирование двухфазных закрученных потоков модифицированным методом крупных частиц // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1988. Т. 28. № 1. С. 90.
8. Vel'kin V.I., Loginov M.I., Chernobai E.V. Development of the mathematical model and software to compute the res cluster // Advances in Mathematics. 2013. Т. 1. С. 66.
9. Бельский Д.М., Бескопыльный А.Н. Измерение вектора механических свойств материала деталей машин // Вестник машиностроения. 1997. № 8. С. 44.



10. Еникеев И.Х. Разработка газодинамических методов расчета сепарации дисперсных частиц в пылеуловителях вихревого и инерционного типа // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. - Москва, 1993. – 31 с.

11. Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г. Декомпозиция n-мерных цифровых сигналов по базису прямоугольных всплесков // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 4 (80). С. 75-79.

12. Санников В.Г. Слуховая томография - новое направление в области обработки речевых сигналов // Электросвязь. 2007. № 5. С. 52-56.

13. Белянский В.Б., Худяков К.Н., Чебышев В.В. Диапазонная телевизионная антенна турникетного типа // В сборнике: Труды Московского технического университета связи и информатики Москва, 2008. С. 35-38.

14. Вуколов В. Ю., Осокин В. Л., Папков Б. В. Повышение эффективности электрических сетей 6-35 КВ // Вестник НГИЭИ. 2015. № 12 (55). С. 28–36.

15. Меньшикова Е.А., Осовецкий Б.М. Углистые техногенные частицы в окружающей среде // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 83-88.

16. Волчков В.П., Санников В.Г. Синтез канальных прекодеров для цифровых систем связи с финитным сигнальным базисом // Электросвязь. 2016. № 4. С. 41-45.

17. Коробейников А.Г., Кутузов И.М. Алгоритм обфускации // Кибернетика и программирование. 2013. № 3. С. 1-8.

18. Велькин В.И., Логинов М.И. Выбор оптимального состава оборудования в кластере возобновляемых источников энергии на основе регрессионного анализа // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 100-104.

19. Халиуллин Ф.Х., Галеев Г.Г., Шириязданов Р.Р. Обзор программных продуктов для моделирования функционирования энергетических установок мобильных машин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2012. Т. 7. № 2 (24). С. 66-72.

20. Волоконский М.В., Мишин В.М. Оценка прочности границ зерен стали, ослабленных фосфором и остаточными напряжениями // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 3. С. 104-105.

21. Меньшикова Е.А., Осовецкий Б.М. Магнитные сферулы природно-техногенных осадков // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 1829.

22. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Велькин В.И. Опыт разработки электронных образовательных ресурсов подготовки ремонтного персонала для атомных станций // В сборнике: Новые образовательные технологии в вузе Сборник докладов Пятой Международной научно-методической конференции: в 2 частях. 2008. С. 366-372.

**Информация об авторе:**

**Турганбаев О.М.,**  
Старший преподаватель,  
Ошский технологический университет,  
г. Ош, Кыргызстан

**Information about author:**

**Turghanbaev OM,**  
Senior Lecturer,  
Osh Technological University,  
Osh, Kyrgyzstan