

ENGINEER



international scientific journal

SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**
Tashkent state
transport university



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

16-iyun, 2025



engineer.tstu.uz

“QURILISHDA YASHIL IQTISODIYOT, SUV VA ATROF-MUHITNI ASRASH TENDENSIYALARI, EKOLOGIK MUAMMOLAR VA INNOVATSION YECHIMLAR” MAVZUSIDAGI RESPUBLIKA MIQYOSIDAGI ILMIY-AMALIY KONFERENSIYA TASHKILIY QO‘MITASI

1. Abdurahmonov O.K. – O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi ijtimoiy rivojlantirish departamenti rahbari, Toshkent davlat transport universiteti rektori
2. Gulamov A.A – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
3. Shaumarov S.S – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
4. Suvonqulov A.X. – O‘zsuvta’minoti AJ raisi
5. Xamzayev A.X. – O‘zbekiston ekologik partiyasi raisi
6. Maksumov N.E. – O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Qurilish va uy-joy kommunal xo‘jaligi sohasida nazorat qilish inspeksiysi boshlig‘i o‘rinbosari
7. Baratov D.X. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
8. Turayev B. X – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
9. Norkulov S.T. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
10. Adilxodjayev A.E. – Universitedagi istiqbolli va strategik vazifalarni amalga oshirish masalalari bo‘yicha rektor maslahatchisi
11. Negmatov S.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK ilmiy rahbari, O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Akademigi
12. Abed N.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK raisi
13. Merganov A.M – Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo‘limi boshlig‘i
14. Ibadullayev A. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
15. Rizayev A. N. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
16. Xalilova R.X. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
17. Babayev A.R. – “Qurilish muhandisligi” fakulteti dekani
18. Boboxodjayev R.X – Tahririy nashriyot va poligrafiya bo‘limi boshlig‘i
19. Talipov M.M – Ilmiy nashrlar bilan ishslash bo‘limi boshlig‘i
20. Maxamadjonova Sh.I. - Matbuot xizmati kontent-menedjeri
21. Umarov U.V. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi mudiri
22. Eshmamatova D.B. – Oliy matematika kafedrasi mudiri
23. Muxammadiyev N.R. – Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrasi mudiri
24. Tursunov N.Q. – Materialshunoslik va mashinasozlik kafedrasi mudiri
25. Shermuxammedov U.Z. – Ko‘priklar va tonnellar kafedrasi mudiri
26. Lesov Q.S. – Temir yo‘l muhandisligi kafedrasi mudiri
27. Pirnazarov G‘.F. – Amaliy mehanika kafedrasi mudiri
28. Teshabayeva E.U. – Tabiiy fanlar kafedrasi professori
29. Chorshanbiyev Umar Ravshan o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi dotsent v.b.
30. Obidjonov Axror Jo‘raboy o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi assistenti

III-SHO'BA. ZAMONAVIY MATERIALSHUNOSLIK VA MASHINASOZLIKNING DOLZARB MUAMMOLARI

Stress state analysis in belt drive systems and determination of their optimal operating modes

S.Z. Yunusov¹, Sh.A. Mahmudova¹, M.R. Husaino¹, D. A. Muminov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This scientific article analyzes the forces that occur in belt drives and their impact factors. Belt tension, wheel diameters, and rotational speed are considered as input factors in the study. The moment transmitted through the transmission and the dynamic loads acting on the belt are studied as output factors. The relationship between these factors is expressed using mathematical modeling and optimal working conditions are determined. The main purpose of the study is to determine the optimal parameters for improving the efficiency of belt drives and ensuring their reliability.

Keywords: belt drive, power analysis, tension, dynamic load, torque, rotational speed, mathematical modeling, optimization, reliability

Анализ напряжённого состояния в ремённых приводных системах и определение оптимальных режимов их работы

Юнусов С.З.¹, Махмудова Ш.А.¹, Хусанов М.Р.¹, Муминов Д.А.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной научной статье анализируются силы, возникающие в ремённых передачах, и факторы их воздействия. В качестве входных факторов в исследовании рассматриваются натяжение ремней, диаметры колес и скорость вращения. В качестве выходных факторов изучаются передаваемый через передачу момент и динамические нагрузки, действующие на ремень. Связь между этими факторами выражается с помощью математического моделирования и определяются оптимальные условия работы. Основная цель исследования заключается в определении оптимальных параметров для повышения эффективности ремённых передач и обеспечения их надёжности.

Ключевые слова: ремённая передача, силовой анализ, натяжение, динамическая нагрузка, момент, скорость вращения, математическое моделирование, оптимизация, надёжность.

1. Введение

Ремённые передачи являются одной из широко применяемых механических систем передачи в машиностроении. Они используются для передачи мощности от одной оси к другой в различном промышленном оборудовании, транспортных средствах и других механических системах. Эти передачи имеют различные механические параметры и конструктивные особенности. В машиностроении и технологических процессах широко используются ремённые передачи, основным преимуществом использования которых является наличие в составе ремня упругого элемента.

Лента выполняет функцию гасителя избыточных нагрузок и колебаний, возникающих в результате вращения масс. При этом в качестве основного влияющего фактора на динамику ремённой передачи целесообразно рассматривать силы технологического сопротивления [1].

Это приводит к образованию дополнительных нагрузок на ремень и опоры в ремённой передаче. Контроль нагрузок, возникающих между ремнём и шкивом, и поддержание безопасного интервала считается основным научным направлением (рис. 1).

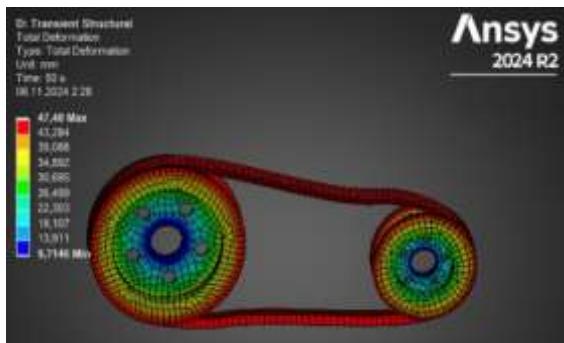


Рис. 1. Модуляция нагрузок между ремнём и шкивом

Основными конструктивными и механическими характеристиками ремённых передач являются:

- значение передаваемого через ремённую передачу момента зависит от ширины, материала и скорости вращения ремня, на которые влияют прочность и эластичность ремня при растяжении;
- в механических системах, работающих с ремёнными передачами, скорость вращения регулируется за счёт передаточного отношения, что позволяет повысить эффективность использования машинных агрегатов [2,3-5];
- в работе ремённых передач трение играет важную роль. Скольжение ремня приводит к потерям при передаче мощности. Поэтому для увеличения трения используются специальные материалы или покрытия;
- свойства ленты зависят от свойств материала, из которого она изготовлена, ленты изготавливаются преимущественно с использованием материалов на каучуковой, полиуретановой, композитной или тканевой основе;
- ширина и толщина ленты влияют на передаваемую мощность и момент.

Срок службы ремённых передач зависит от их материала, условий эксплуатации и уровня технического обслуживания [3-5]. Ремённые передачи широко используются в промышленном оборудовании (вентиляторы, компрессоры), сельскохозяйственной технике (тракторы, комбайны) и бытовой технике. Они также используются в автомобильной промышленности, например, для передачи мощности двигателя генераторам и другим частям.

2. Анализ научных трудов и литературы

В ряде научных исследований не учитываются динамические факторы, основанные на статических напряжениях и расширенных моделях, применяемых для расчёта надёжности машинных агрегатов с ремённой передачей в условиях отказа или остановки. В

связи с этим были предложены динамические уравнения, учитывающие влияние динамических нагрузок и свойств материала, а также их зависимость от времени. Рассматривалась динамическая зависимость машинного агрегата в процессе остановки и влияние несовершенного обслуживания [4,5,7]. В ремённой передаче могут возникать осевые, поперечные и вращательные силы. Анализ вынужденных и свободных колебаний проводился путём сравнения существующих моделей. Были проведены исследования, направленные на изучение влияния начального натяжения, угловой скорости валов, жёсткости при изгибе, а также реактивных сил на опорах на динамические характеристики ремённых передач. Кроме того, особое внимание было уделено анализу колебательных процессов, возникающих в таких передачах, и их комплексному взаимодействию с перечисленными факторами. [5-9]. Исследователи провели анализ плоскоременной передачи, при котором система была разделена на две подсистемы: первая включала только ленту и рассматривалась отдельно, вторая учитывала остальные компоненты. Для определения собственных значений системы было выведено характеристическое уравнение. Кроме того, были исследованы произвольные переменные нагрузки, действующие на передачу, и предложено точное решение гармонических функций при отсутствии резонанса [6-11]. В исследованиях [8-12] на основе экспериментов была изучена зависимость тяговых сил, относительного скольжения и КПД ремённой передачи, а также разработана математическая модель для оценки её тяговой способности в зоне упругого скольжения. Технологические процессы в машиностроительной технологии, включая производство, представляют собой сложные процессы, зависящие от изменений множества взаимосвязанных факторов. Поэтому научное исследование этих процессов осуществляется на основе математических моделей.

3. Основная теоретическая часть

Исследования показывают, что правильное определение и анализ сил натяжения, возникающих в ремнях, является одним из важных направлений исследований в области механики и машиностроения. Эти исследования служат не только для повышения надёжности технологических машин, но и имеют большое значение для обеспечения их энергоэффективности. Для расчёта и анализа сил натяжения, возникающих в ремённых передачах, широко применяются математические модели и компьютерное моделирование [12,13]. При математическом моделировании сил, возникающих в результате технологических нагрузок в ремённых передачах, определение комплексных зависимостей факторов, влияющих на них, является сложным процессом, который зависит от изменений многих взаимосвязанных факторов [14, 15]. Поэтому научное

исследование этих процессов целесообразно проводить на основе математических моделей. Для этого можно использовать регрессионные модели полнофакторных экспериментов (ПФЭ). При построении многофакторных регрессионных моделей в ПФЭ понимается эксперимент, учитывающий все необратимые значения факторов. Каждый опыт матрицы планирования повторяется не менее трёх раз.

4. Основная практическая часть

Изучена зависимость величины сил натяжения, возникающих в ремённых передачах, от выходных параметров. На основе вышеприведённой методики проводятся расчёты, для изучения комплексного влияния крутящего момента, диаметра шкива и расстояния между осями шкива на силы натяжения, возникающие в ремнях, решается задача путём составления математической модели на основе ПФЭ, а также составления уравнения регрессии, изучения его зависимости от всех входных факторов и анализа результатов. Сначала мы определили входные параметры, и с целью изучения зависимости от выходного параметра можно составить уравнение регрессии и изучить влияние входных параметров на выходной параметр через закодированные значения в комплексном виде. Условия проведения эксперимента приведены в таблице 1

Таблица 1
Условие планирования эксперимента

№	Фактор	Кодировка	значения факторов			Интервал
			-1	0	+1	
1	Крутящий момент, Нм	x_1	45	90	13 5	45
2	Диаметр шкива, мм	x_2	80	102, 5	12 5	22,5
3	Расстояние между осями шкива, см	x_3	52	107, 5	16 3	55,5

Исследуем влияние выходных параметров x_1 -крутящий момент, x_2 -диаметр шкива и x_3 -расстояние между осями шкива на силы натяжения, возникающие в y_1 -ремнях на основе ПФЭ. Для этого на основе матрицы планирования проводим эксперименты 3 раза в каждом условии, количество экспериментов $N=23=8$, количество повторений $m=3$, общее количество экспериментов $N \cdot m=24$. Экспериментальные результаты и дисперсии выходного параметра приведены в таблице 2.

В процессе обработки результатов эксперимента учитывалось значение y_1 . Статистическое исключение различающихся значений при использовании для каждой строки в таблице 2, т.е. с использованием средних значений и дисперсий для каждой строки, из которых для первого эксперимента:

На основе расчётных значений полученных коэффициентов регрессии получаем следующую многофакторную модель регрессии:

$$Y_r=669,4+0,258 \cdot x_1+0,59 \cdot x_2+0,78 \cdot x_3-0,091 \cdot x_1 \cdot x_2-0,23 \cdot x_1 \cdot x_3-0,35 \cdot x_2 \cdot x_3-0,0333 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Но это не окончательный вариант модели. Чтобы получить окончательный вид модели, проверим значимость коэффициентов. Для этого мы используем формулы критерия Стьюдента.

$$S^2\{\bar{y}\} = \frac{1}{Nn} \sum_{u=1}^N S_u^2(y) = \frac{5.435}{8} = 0.679;$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{N} S^2(\bar{y}) = \frac{2.329}{8} = 0.2911;$$

$$S\{b_i\} = 0.2911.$$

Определим расчётные значения критериев коэффициентов:

$$t_R(b_1) = \frac{|ib_1|}{s\{b_1\}} = \frac{12.578}{2.561} = 4.91$$

$$\text{То же самое: } t_R(b_1) = 4.92; t_R(b_2) = 9.893; t_R(b_3) = 13.098$$

$$t_R(b_{12}) = -1.5; t_R(b_{13}) = -3.901; t_R(b_{23}) = -5.8; t_R(b_{123}) = 0.55$$

Определённые расчётные значения сравниваются с табличным значением критерия "Стьюдент": $t_T[P_D, A\{S_u^2\}] = N(m-1)$, когда $t_T[P_D = 0.95; A = 8 \cdot (3-1)] = 2,12$.

Следовательно, вычисленные значения вычитаются из табличных значений, и мы переписываем модель регрессии:

$$Y_r=669,4+0,258x_1+0,59x_2+0,78x_3-0,23x_1x_3-0,35x_2x_3$$

5. Анализ результатов

Расчёты проводились с помощью компьютерной программы, значения которой приведены в таблице 2. Результаты, полученные с помощью компьютерной программы для построения регрессионной модели для сил натяжения, возникающих в ременных передачах, согласуются с расчётными значениями.

Таблица 2
Результаты расчёта с помощью компьютерной программы для построения регрессионной модели

показатель качества			F_{low}	S_p^2	S_p	F_{high}	F_{mid}	Gr		Tr
J_1	J_2	J_3								
667	667,1	667,4	667,1	0,043	0,20816	1,372	-1,372	0,063	T(b1)	4,319
668	668,3	668,5	668,2	0,063	0,25166	1,135	-1,135		T(b1)	9,893
669	669,2	669,3	669,1	0,023	0,15275	1,069	-1,069		T(b1)	13,09
669,9	670	670,2	670,0	0,023	0,15275	1,336	-1,336		T(b2)	-1,532
669,5	669,9	670,1	669,8	0,093	0,30550	1,068	-1,068		T(b3)	-3,901
670	670,1	670,3	670,1	0,023	0,15275	1,336	-1,336		T(b4)	-5,852
670,3	670,5	670,9	670,6	0,093	0,30550	1,336	-1,336		T(b5)	-6,557
671	669,9	670,2	670,3	0,373	0,56862	-0,358	0,358			
				669,4	0,686	0,82865	1,4	1,4	T(a1)	2,12
b_1	b_2	b_3	b_4	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{123}			
669,4	0,258	0,596	0,783	-0,091	-0,2333	-0,35	-0,0533			

Анализируем результаты ПФЭ с помощью регрессионной модели для ремённых передач с использованием графического метода.

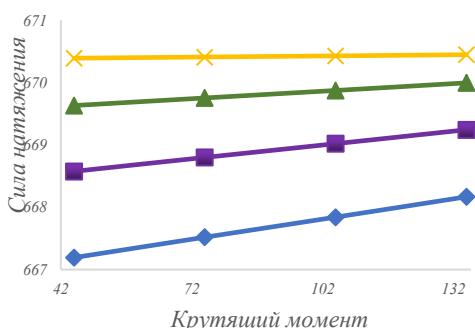


Рис. 2. Зависимость силы натяжения, возникающей в ременных передачах, от крутящего момента

Этот график показывает зависимость между крутящим моментом x_1 (кН) и силой натяжения (кН), возникающей в ремённых передачах y_1 в связи с совершенствованием ременных передач, используемых в технологических машинах. Каждая строка соответствует закодированным значениям входных параметров, приведённых в таблице 3. То есть диаметр шкива x_2 и расстояние между осями шкива x_3 построены соответственно с учётом изменения от минимального значения (-) до максимального значения (+).

Как видно из графика, когда первый ряд (синий) соответствует минимальным значениям диаметра шкива x_2 и расстояния между осями шкива x_3 , а крутящий момент x_1 увеличивается до 42÷132 кН, сила натяжения, создаваемая в передачах с ремнём y_1 , увеличивается до 667,0÷668,5 кН соответственно. Этот результат представляет собой эффективность при низкой нагрузке.

Вторая (фиолетовая) и третья (оранжевая) линии соответствуют промежуточным значениям входных параметров x_2 и x_3 , и за счёт изменения x_1 наблюдается увеличение силы натяжения до 668,5÷669,5 кН (фиолетовая) и 669,5÷670,5 кН (оранжевая) соответственно.

Четвёртый ряд (пурпурная линия) соответствует максимальным значениям x_2 и x_3 , а увеличение x_1 до 42÷132 кН устойчиво поддерживает силу натяжения на

уровне 670,5 кН. Это отражает эффективность ремённой передачи при высоких нагрузках.

6. Выводы

Усовершенствование конструкции ременных передач, применяемых в технологических машинах, имеет важное значение не только для научных исследований, но и для их практического применения. Результаты исследования показали, что эффективность ременных передач зависит от их геометрии, выбора материала и условий нагружения. Вопросы напряжений и энергосбережения, возникающие в ременных передачах, тесно связаны с размерами элементов передачи, материалом ремня и технологическими нагрузками. Эти факторы играют важную роль в эффективном использовании ременных передач. Результаты данного исследования определяют новый подход к анализу динамических и механических характеристик ременных передач, используемых в технологических машинах. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования конструкции ременных передач и повышения их надёжности. Точно определить напряжения, возникающие в ременных передачах.

Использованная литература / References

- [1] Джураев А. и др. Теория машин и механизмов // Ташкент-2004, 582 стр.
- [2] Жўраев А, Таджибоев Р. / Прикладная механика // учебник, Ташкент-2007, 394 стр.
- [3] Турсунов, Р. (2023). "Повышение эффективности ленточных трансмиссий и их срок службы". Инженерный журнал Узбекистана, 15(4), 89-96.
- [4] Peng Gao, Liyang Xie, Jun Pan / Reliability and Availability Models of Belt Drive Systems Considering Failure Dependence // Chinese Journal of Mechanical Engineering 32(1), December 2019. DOI:10.1186/s10033-019-0342-x
- [5] S. Abrate, / Vibrations Of Belts And Belt Drives, // Mechanism and Machine Theory, vol. 27, no. 6, pp. 645 - 659, Elsevier, Jan 1992. [https://doi.org/10.1016/0094-114X\(92\)90064-O](https://doi.org/10.1016/0094-114X(92)90064-O)
- [6] LI Xiao-jun, CHEN Li-qun / Modal analysis of coupled vibration of belt drive systems // Appl. Math. Mech. -Engl. Ed., 2008, 29(1):9–13 DOI 10.1007/s10483-008-0102-x
- [7] Lixin Zhang, Jean W. Zu, Zhi-chao Hou / Complex Modal Analysis of Non-Self-Adjoint Hybrid Serpentine Belt Drive Systems // Journal of Vibration and Acoustics 123(2), April 2001, DOI:10.1115/1.1356697
- [8] Белов М.И. К расчёту ремённой передачи // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2017. № 5 (38).

[9] Wilson, A. & Green, T. (2022). "Belt Drives in Modern Mechanical Systems: Design and Optimization". Berlin: Springer.

[10] Yunusov, S. Z., Kenjayev, S. N., & Makhmudova, S. A. (2023). Shafts of technological machines with combined supports. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 01059). EDP Sciences..

[11] Kumaran V. U. va boshq. Analytical flat belt drive model considering bilinear elastic behaviour with residual strains // Mechanism and Machine Theory, vol.190, December 2023.

[12] Hamasaki Y. Energy saving technology of flat belts: Meandering control of belts. Toraibarojisuto Journal of Japanese Society of Tribologists, 63(8), pp.532 - 538. (2018).

[13] Yunusov, S. Z., Kenjayev, S. N., Makhmudova, S. A., & Islamova, G. X. (2023). Full factorial experiment in research the parameters of a combined shaft of technological machines. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 03043). EDP Sciences.

[14] Севостьянов А.Г. Оптимизация механико-технологических процессов текстильной промышленности. Москва-1991, 254 с. ISBN 5-7088-0472-6

[15] Любимова О.Н., Сиськов В.В. Построение и проверка регрессионных моделей при обработке результатов факторных экспериментов; Инженерная школа ДВФУ.-Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017 – 36 с. – ISBN 978-5-7444-4100-5.

Информация об авторах/ Information about the authors

**Юнусов
Салохиддин
Зунунович** Ташкентский государственный транспортный университет доктор технических наук, профессор

E-mail:ysz1979@gmail.com

orcid:0000-0003-0477-4241

**Махмудова
Шахноза
Абдувалиевна** Ташкентский государственный транспортный доктор философии технических наук,

E-mail: maxmudovash88@mail.ru,
orcid:0009-0007-3924-2567

**Хусанов
Мухаммаджон
Рахимжон
угли** Ташкентский государственный транспортный университет магистр

E-mail:
xusanovmuhammadjon93@gmail.com
orcid: 0009-0008-6677-2632

**Муминов
Достон
Алишер угли** Ташкентский государственный транспортный университет магистр

dos1858060@gmail.com

orcid: 0009-0001-6119-8212

U. Rakhmanova, Z. Mirzayeva, G. Ismailova, A. Abdusattorov	
<i>Equations of motion of a polymer pipeline interacting with the ground under seismic influences.....</i>	186
Z. Sattorov , N. Madraymov	
<i>Prospects for the use of ash and rock waste as a secondary resource in the energy industry.....</i>	189
Z. Sattorov , I. Ganiev	
<i>Improving the properties of high-strength fibrobetones with local mineral filler and complex chemical additive.....</i>	193
U. Abdullaev	
<i>Optimization of concrete mixture compositions with a superplastifier additive as well as a binary microwave.....</i>	198
S. Yunusov, Sh. Mahmudova, M. Husainov, D. Muminov	
<i>Stress state analysis in belt drive systems and determination of their optimal operating modes.....</i>	202
Sh. Turdieu, U. Ziyamukhamedova	
<i>A literature review on the recycling of waste from medium-alloy high-speed steel using green technologies for the environmentally sustainable manufacturing of milling cutters.....</i>	207
M. Turakulov, N. Tursunov	
<i>Development and implementation of synthetic cast iron casting technology for the manufacture of a friction wedge.....</i>	212
M. Turakulov, N. Tursunov	
<i>Investigation of the conditions forming the operational characteristics of the friction wedge of the vibration damper.....</i>	215
H. Samandarov, J. Sobirov, A. Ibadullaev, E. Teshabaeva, N. Sipatdinov	
<i>Development of rubber compounds for machine-building purposes</i>	219
D. Khodzhikoriev, M. Khamrakulov, Z. Sayfullaeva, G. Khamrakulov	
<i>Classification characteristics of furniture products</i>	224
D. Khodzhikoriev, M. Khamrakulov, Z. Sayfullaeva, G. Khamrakulov	
<i>Commodity research of furniture products.....</i>	227