

СЛОЖНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ СЕРОГО ЧУГУНА

Рычков Борис Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Механика» КРСУ, 720000, Кыргызстан, г.Бишкек, ул.Киевская,44, e-mail: rychkovba@mail.ru

Гончарова Ирина Витальевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Высшая математика» КРСУ, 720000, Кыргызстан, г.Бишкек, ул.Киевская,44, e-mail: goncharovaiv@mail.ru

По экспериментальным диаграммам осевого и окружного растяжений тонкостенных трубчатых образцов чугуна СЧ 15-32 установлены механические характеристики, отражающие его пластичность и свойство дилатансии. При сложном нагружении выявлен механизм пластической деформации и разрыхления материала.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, упругость, пластичность, разрыхление, концепция скольжения, сопротивление сдвигу, пропорциональное и сложное нагружение.

THE COMPLEX DEFORMATION OF CAST IRON

Rychkov Boris A., doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Mechanics, Kyrgyz-Russian Slavic University, 720000, Kievskaja, 44, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: rychkovba@mail.ru

Goncharova Irina V., Ph. D. in Physical and Mathematical Sciences, Ass. Professor Department of High mathematics Kyrgyz-Russian Slavic University, 720000, Kievskaja, 44, Bishkek, Kyrgyzstan, e-mail: goncharovaiv@mail.ru

The mechanical characteristics of plasticity and dilatancy property has installed on the experimental diagrams axial and circumferential stretching of thin-walled tubular specimens of iron СЧ 15-32. The mechanism of plastic deformation and loosening of the material has identified under complex loading.

Keywords: stress and strain state, elasticity, plasticity, loosening, the concept of slipping, shear resistance, proportional and complex loading.

1. Экспериментальные данные. Объектом исследования являлся серый чугун. В качестве образцов испытывались полые цилиндры, изготовленные из чугуна марки СЧ15-32¹. Экспериментально определены главные осевая, окружная (на внешней и внутренней поверхностях), радиальная и объемная деформации при различных траекториях нагружения. При теоретическом отображении поведения материала в расчет принимались только исходные экспериментальные данные по осевой и окружной ("внешней") деформации. Этих данных было достаточно для реализации поставленной задачи по моделированию неупругой деформации рассматриваемого материала. Как правило, в стандартных испытаниях обычно фиксируются именно принятые нами исходные экспериментальные данные.

2. Определение упругих постоянных. По начальному участку диаграмм деформации для осевого и окружного растяжений определялись упругие модули осевого и окружного растяжений (E_z, E_φ), а также соответствующие коэффициенты Пуассона [1]

$$E_z = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z} = 52885 \text{ (МПа)}, \quad E_\varphi = \frac{\sigma_\varphi}{\varepsilon_\varphi} = 78947 \text{ (МПа)},$$

$$\nu_{z\varphi} = \frac{|\varepsilon_\varphi|}{\varepsilon_z} = 0,1655, \quad \nu_{\varphi z} = \frac{|\varepsilon_z|}{\varepsilon_\varphi} = 0,2368.$$

По значениям найденных таким образом упругих констант видно, что предположение об исходной изотропии материала не выполняется ($E_z \neq E_\varphi$). Проверка условия ортотропии материала:

$$E_z \cdot \nu_{\varphi z} = E_\varphi \cdot \nu_{z\varphi}$$

¹ Выражаем благодарность В.М. Жигалкину и О.М.Усольцевой за предоставленные первичные данные.

показала, что это условие выполняется с точностью до 5%. Так как упругие константы определяются примерно с такой же точностью, то можно считать, что данный материал является ортотропным.

Согласно обобщенному закону Гука в рассматриваемом случае напряженно-деформированного состояния при наличии ортотропной симметрии компоненты тензора упругих деформаций определяются по формулам:

$$e_z = \frac{1}{E_z} \cdot \sigma_z - \frac{\nu_{\varphi z}}{E_\varphi} \cdot \sigma_\varphi; \quad e_\varphi = \frac{1}{E_\varphi} \cdot \sigma_\varphi - \frac{\nu_{z\varphi}}{E_z} \cdot \sigma_z. \quad (1)$$

3. Моделирование неупругой деформации.

Полные неупругие деформации в осевом и в окружном направлении определяются по формулам:

$$\Gamma_z = \varepsilon_z - e_z, \quad \Gamma_\varphi = \varepsilon_\varphi - e_\varphi \quad (2)$$

где $\varepsilon_z, \varepsilon_\varphi$ суммарные (замеренные в опыте) деформации.

На основании предыдущих исследований [2,3], экспериментальных данных Паняева В.А.[4,5] и гипотезы Новожилова В.В. [6,7] деформация дилатансии принимается равной полусумме неупругих деформаций Γ_z и Γ_φ :

$$\Gamma_d = \frac{\Gamma_z + \Gamma_\varphi}{2} \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что чисто пластическая деформация ($\Gamma_z^p, \Gamma_\varphi^p$) определяется по формулам:

$$\Gamma_z^p = \Gamma_z - \Gamma_d, \quad \Gamma_\varphi^p = \Gamma_\varphi - \Gamma_d \quad (4)$$

По исходным табличным данным образцов № 4, 6, 7, и 15 построены [1] соответствующие диаграммы деформации $\varepsilon(\sigma)$, определены их (расчетные) упругие и неупругие деформации

Используя полученные данные вышеуказанных образцов, определены их пределы текучести по допуску 0,025% на остаточную максимальную главную деформацию: при осевом растяжении $\sigma_z^T = 26$ МПа; при окружном растяжении $\sigma_\varphi^T = 60$ МПа; при двухосном растяжении, когда $k = \frac{\sigma_z}{\sigma_\varphi} = 2$, $\sigma_z^T = 51$ МПа; при $k = 0,53$, $\sigma_\varphi^T = 57$ МПа.

По указанным значениям пределов текучести построена поверхность текучести (рис.1), которая характеризует прочность материала в начальный период развития пластической деформации. Как видно из рис.1, у исследуемого чугуна двухосная прочность оказалась существенно выше одноосной в осевом направлении, когда реализуется состояние чистого сдвига при $\sigma_z = 2\sigma_\varphi$; такая ситуация характерна для подобных анизотропных материалов [8,9].

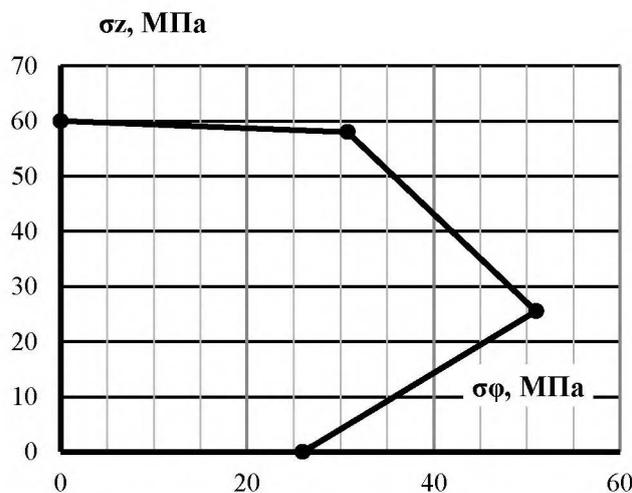


Рис.1. Поверхность текучести

По записанным выше формулам определены компоненты неупругой деформации. Установлена [1] единая зависимость для чисто пластической максимальной главной деформации в зависимости от разности между наибольшим главным напряжением и его значением на пределе упругости (который отождествляется с пределом текучести), т.е. зависимость в координатах $\Gamma_i^p \sim (\sigma_i - \sigma_i^T)$. Здесь σ_i^T ($i = z, \varphi$) – главное напряжение, соответствующее развитию главной пластической деформации от скольжения по площадке Π_{ij} ($j = z, \varphi, r$) действия главного касательного напряжения $\tau_{ij} = 0,5(\sigma_i - \sigma_j)$, на которой превышает предел текучести σ_i^T при заданном напряжённом состоянии.

Аппроксимация зависимости $\Gamma_i^p \sim (\sigma_i - \sigma_i^T)$ представлена на рис.2.

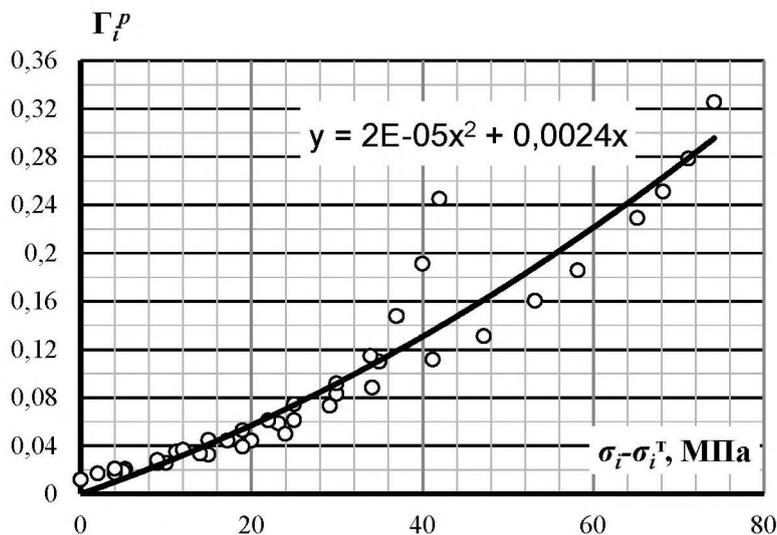


Рис.2

Т.о., уравнение для чисто пластической деформации имеет вид:

$$\Gamma_i^p = 2 \cdot 10^{-5} (\sigma_i - \sigma_i^T)^2 + 0,24 \cdot 10^{-3} (\sigma_i - \sigma_i^T) \tag{5}$$

Если ввести коэффициент дилатансии λ как отношение деформации дилатансии Γ_d к компоненте чисто пластической главной деформации Γ_i^p , то в общем случае он зависит от вида напряженного состояния. Однако, как показал проведенный анализ, в первом приближении для случаев одноосного и двухосного растяжений можно полагать $\lambda = 1$. Тогда, считая, что во всех случаях вида напряженного состояния происходит плоскопластическая деформация, имеем:

-при осевом растяжении:

$$\Gamma_z = 2\Gamma_z^p, \quad \Gamma_\varphi = 0, \quad \Gamma_d = \Gamma_z^p, \tag{6}$$

-при окружном растяжении:

$$\Gamma_\varphi = 2\Gamma_\varphi^p, \quad \Gamma_z = 0, \quad \Gamma_d = \Gamma_\varphi^p, \tag{7}$$

-при двухосном растяжении, $k = 2$:

$$\Gamma_z = 2\Gamma_z^p, \quad \Gamma_\varphi = 0, \quad \Gamma_d = \Gamma_z^p, \tag{8}$$

-при двухосном растяжении, $k = 0,53$:

$$\Gamma_\varphi = 2\Gamma_\varphi^p, \quad \Gamma_z = 0, \quad \Gamma_d = \Gamma_\varphi^p. \tag{9}$$

В результате при таком соотношении между деформацией дилатансии и чисто пластической деформацией, полная деформация ε_i ($i = z, \varphi$), рассчитанная с использованием приведенных формул, достаточно хорошо отражает поведение испытанных образцов при всех четырех программах пропорционального нагружения. Экспериментальные (точки) и расчетные (сплошные линии) зависимости деформации от напряжения представлены на рисунках 3-6. Из этих рисунков видно, что поперечная деформация во всех случаях пропорционального нагружения по расчету является упругой, что достаточно хорошо подтверждается в эксперименте.

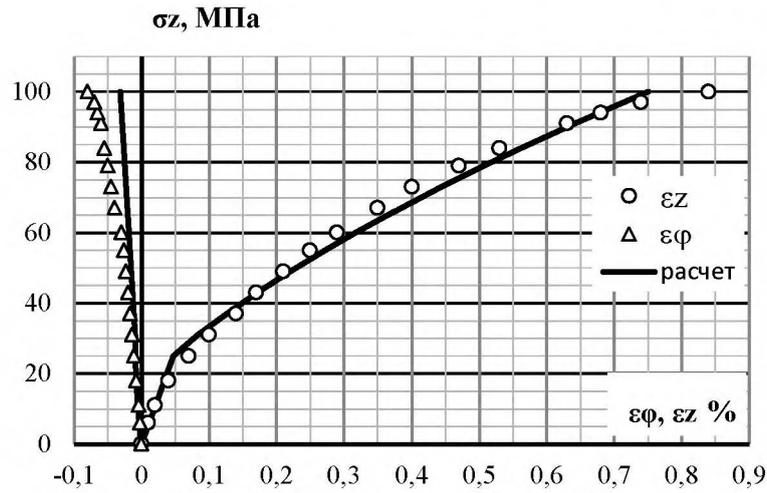


Рис.3. Осевое растяжение (образец №6)

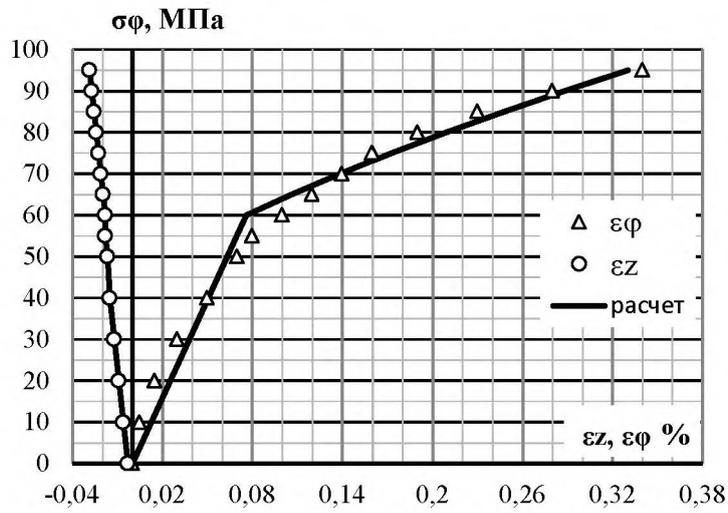


Рис.4. Окружное растяжение(образец №15)

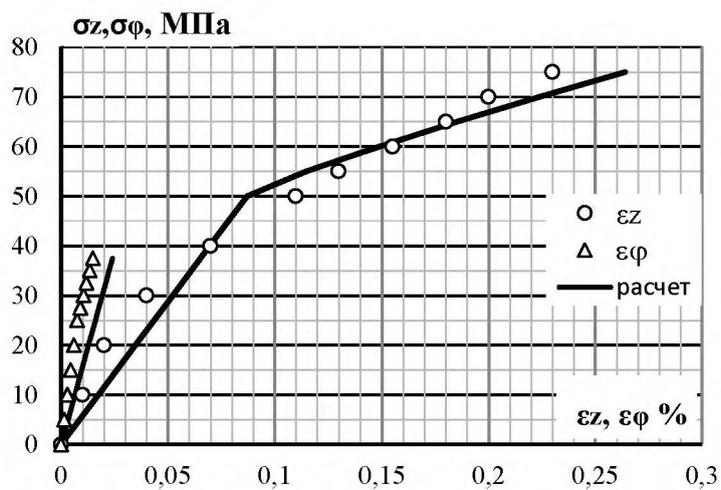


Рис.5. Растяжение с внутренним давлением, $\sigma_z = 2 \cdot \sigma_\phi$ (образец №7)

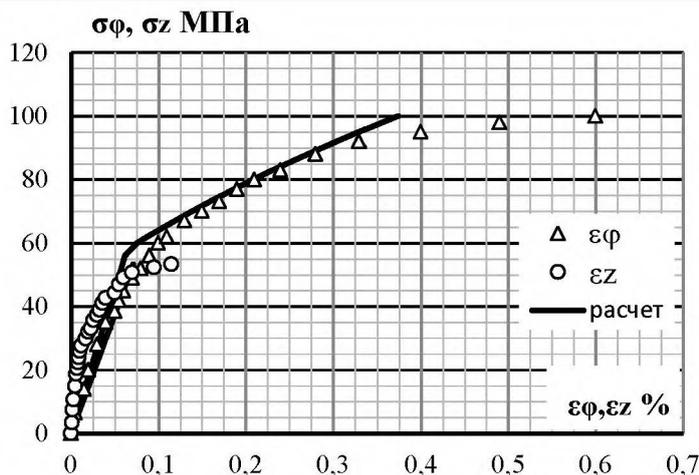


Рис.6. Растяжение с внутренним давлением, $\sigma_z = 0,53 \cdot \sigma_\varphi$
(образец №4)

4. Сложное нагружение. Образец №16 вначале растягивался за предел текучести до напряжения $\sigma_z^* = 50$ МПа, затем прикладывалось внутреннее давление так, что $\frac{\Delta\sigma_z}{\sigma_\varphi} = 0.5$.

При этом главное касательное напряжение $\tau_{z\varphi}$ получает отрицательное приращение. Это означает, что по площадке действия этого касательного напряжении ($\Pi_{z\varphi}$) скольжения прекращаются. Но, поскольку неупругая осевая деформация продолжает увеличиваться, следовательно, возникают скольжения по площадке действия другого главного касательного напряжения. Этим напряжением является напряжение τ_{zr} . Из этого, в свою очередь, вытекает, что предел текучести $\tau_{zr}^T = 0.5\sigma_z^*$

($\tau_{zr} = \frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_r), \sigma_r = 0$). Тогда на диаграмме единой зависимости $\Gamma_i^p(\sigma_i - \sigma_i^T)$ главное напряжение $\sigma_1 = \sigma_z^*$ получит приращение $\Delta\sigma_z = 0.5\sigma_\varphi$, а разность $\sigma_i - \sigma_i^T$ начинает отсчитываться от значения $\Delta\sigma_1 = \sigma_z^* - 26$ (МПа) при пределе текучести $\sigma_1^T = \sigma_z^* = 50$ МПа.

Иначе говоря, при $\sigma_z > \sigma_z^*$ имеем $(\sigma_1 - \sigma_1^T) = \Delta\sigma_1$; $\Delta\sigma_1 = \sigma_z - 50$ (МПа). На этом участке траектории нагружения $\Delta\Gamma_z^p$ определяется по полученной единой кривой (формула (10)) через только что указанную разность, при этом $\Delta\Gamma_\varphi = \Delta\Gamma_d = \Delta\Gamma_{z\varphi}^p$. Таким образом, приращение окружной деформации ε_φ будет состоять из приращения упругой деформации e_φ и деформации дилатансии, вызываемой скольжениями по площадке τ_{zr} . Результат такого отображения поведения образца №16 при сложном нагружении показан на рис.7 (точки – экспериментальные данные, сплошные линии – расчет).

После разгрузки при повторном нагружении (по траектории, показанной на рис.7) в эксперименте наблюдалось отклонение от упругого закона за счет проявления отрицательного эффекта Баушингера, который пока нами не рассматривается. Четко проявляется работа площадок скольжения, а именно: при первоначальном нагружении из исходного состояния работала площадка $\Pi_{z\varphi}$, до напряжения $\sigma_z^* = 50$ МПа, поэтому при повторном нагружении, начиная с этого же напряжения по площадке $\Pi_{z\varphi}$ снова начинают происходить скольжения до тех пор, пока σ_z не станет равным значению, полученному вначале разгрузки $\sigma_z = 68$ МПа. Далее площадка $\Pi_{z\varphi}$ замораживается, поскольку появляется напряжение σ_φ и касательное напряжение $\tau_{z\varphi}$ уменьшается. При сопоставлении с экспериментальной диаграммой деформации ε_z , видно, что действительно на участке от $\sigma_z = 50$ до $\sigma_z = 68$ МПа работает площадка $\Pi_{z\varphi}$ (характер упрочнения в расчетах такой же,

как в эксперименте). При этом если проанализировать деформацию ε_φ , то видно, что по этой компоненте деформации происходит только упругая составляющая деформации, поскольку в указанном интервале $\sigma_z \in [50, 68]$ $\Gamma_\varphi^p = -\Gamma_z^p$, а $\Gamma_d = \Gamma_z^p$, поэтому $\varepsilon_\varphi = e_\varphi + \Gamma_\varphi^p + \Gamma_d \equiv e_\varphi$, что тоже подтверждается в эксперименте (т.е. действительно и в этом случае срабатывает механизм плоско-пластической деформации). При $\sigma_z > 68$ МПа, так же, как при первоначальном нагружении, включается в работу площадка Π_{zr} , но характер упрочнения материала несколько отличается от наблюдаемого в эксперименте за счет принятой аппроксимации для чисто-пластической деформации.

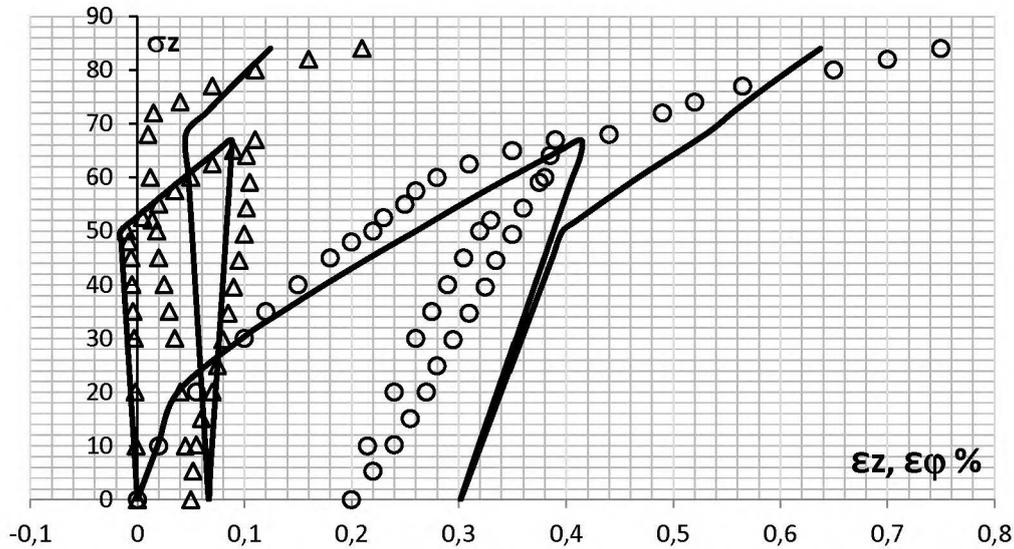


Рис.7

Список литературы

1. Рычков Б.А., Гончарова И.В. Механика деформации серого чугуна при простом нагружении // Вестник КРСУ.-2015.-Т.15.-№9.
2. Рычков Б.А., Гончарова И.В. Пластическая деформация и дилатансия серого чугуна. – Нижний Новгород, 24-30 августа 2011 г. – X Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механике/ Механика деформируемого твердого тела. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2011, № 4 (4), с. 1743–1744.
3. Рычков Б.А., Паниев В.А., Гончарова И.В. Упругость и неупругость серого чугуна// Вестник КРСУ.-2012.-Т.12.-№10.-С.70-75.
4. Леонов М.Я., Паниев В.А., Русинко К.Н. Зависимость между деформациями и напряжениями для полухрупких тел // Инж. журнал. МТТ. 1967. №6. С. 26-32.
5. Паниев В.А. О деформациях и разрушении полухрупких тел: Дисс. ... канд. техн. наук. Фрунзе, 1970.
6. Новожилов В.В. О пластическом разрыхлении// ПММ.-1965.-Т.29.-Вып.4.-С.681-689.
7. Рыбакина О.Г., Сидорин Я.С. Экспериментальное исследование закономерностей пластического разрыхления металлов // Инженерный журнал. МТТ.-1966.-№5.-С.103-111.
8. Бабел Х., Эйтман Д., Макайвер Р. Двухосное упрочнение анизотропных титановых сплавов//Теоретические основы инженерных расчетов.-1967.-№1, с.15-23.
9. Hill R. Constitutive modeling of orthotropic plasticity in sheet metals//J. Mech. and Phys. Solids.- 1990.- V. 38, No. 3.- P. 405-417.

References

1. Rychkov B.A., Goncharova I.V. Mekhanika deformatsii serogo chuguna pri prostom nagruzhenii [Mechanics deformation of cast iron with a simple loading] // Vestnik KRSU.-2015.- Vol.15. – No. 9.
2. Rychkov B.A., Goncharova I.V. Plasticheskaia deformatsiia i dilatansia serogo chuguna.[Plastic strain and dilatancy of gray cast iron] – Nizhnii Novgorod, 24-30 avgusta 2011 g. – X Vserossiiskii s'ezd po fundamental'nym problemam teoreticheskoi i prikladnoi mekhanike/ Mekhanika deformiruemogo tverdogo tela. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo, 2011, – No. 4 (4), pp. 1743–1744.
3. Rychkov B.A., Paniaev V.A., Goncharova I.V. Uprugost' i neuprugost' serogo chuguna [Elasticity and inelasticity of gray cast iron] // Vestnik KRSU.-2012.- Vol.12. – No. 10. – pp.70-75.

4. Leonov M.Ia., Paniaev V.A., Rusinko K.N. Zavisimost' mezhdru deformatsiiami i napriazheniiami dlia polukhrupkikh tel [The relationship between the strains and stresses to semifraigle bodies]// Inzh. zhurnal. MTT – Mechanics of solid. 1967. – No. 6. pp. 26-32.
5. Paniaev V.A. O deformatsiiaxh i razrushenii polukhrupkikh tel [On the strains and fracture of semifraigle bodies]: Diss. kand. tekhn. nauk. Frunze, 1970.
6. Novozhilov V.V. O plasticheskom razrykhlenii [About plastic loosening]// PMM. - Applied Mathematics and Mechanics -1965. - Vol.29. - No.4. -pp.681-689.
7. Rybakina O.G., Sidorin Ia.S. Eksperimental'noe issledovanie zakonomernostei plasticheskogo razrykhleniia metallov [Experimental research the regularities plastic loosening of metals]// Inzhenernyi zhurnal. MTT. - Mechanics of solid.-1966. – No. 5. -pp.103-111.
8. Babel X., Eitman D., Makaiver R. Dvukhosnoe uprochnenie anizotropnykh titanovykh splavov [Biaxial hardening of anisotropic titanium alloys] //Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov.-1967. – No. 1, pp.15-23.
9. Hill R. Constitutive modeling of orthotropic plasticity in sheet metals//J. Mech. and Phys. Solids.- 1990.- V. 38, No. 3.- pp. 405-417.

УДК:330.131.5:656.614.3:627.715.8-6(575.2)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОК НЕФТЕПРОДУКТОВ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Мирзакматов К.Ж., Жалал-Абадский государственный университет, Жалал-Абад, Кыргызская Республика

В статье рассмотрены анализ уровня эффективности перевозок нефтепродуктов, учет и планирование эксплуатационной деятельности подвижного состава.

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF TRANSPORTATIONS OF OIL PRODUCTS IN KYRGYZ TO REPUBLIK

Mirzakmatov K.G., Jalal-Abad is a state university, Jalal-Abad , Kyrgyz Republic

В Кыргызской Республике ведущая роль в перевозках пассажиров и грузов принадлежат автомобильному транспорту. Им перевозится более 97 % пассажиров и 95% груза от общего грузов и пассажиров, перевозимых всеми видами транспорта. На сегодняшний день автомобильный парк Кыргызской Республики составляет около 425 тыс. автомобилей, из них более 348,5 тыс. легковых, 52,4 тыс. грузовых автомобилей. Из них более 20.8% тыс. автобусов и микроавтобусов. В таблицах 1 и 2 показаны статистические данные Нацстаткомитета республики по перевозке грузов и грузооборота всеми видами транспорта.

Таблица 1- Объем перевозок грузов всеми видами транспорта

Вид транспорта	Объем перевозок грузов по годам, млн.т				
	2007	2008	2009	2010	2011
Железнодорожный	2,3	1,8	1,0	1,0	1,0
Автомобильный	27,1	31,9	35,0	35,6	36,4
Трубопроводный	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3
Внутренний водный	0,026	0,043	0,02	0,02	0,01
Воздушный	0,006	0,009	0,001	0,01	0,01
Всего	30,033	34,352	36,321	36,93	37,72

В отличие от дорожного хозяйства, которое является государственным сектором, автомобильная отрасль еще во второй половине 90-х годов была полностью приватизирована и фактически все автотранспортные предприятия в настоящее время является частными, лицензирование их деятельности является единственным механизмом государственного регулирования для организации пассажирских и грузовых перевозок и надзора за соблюдением транспортного законодательства. Из-за их малочисленности на рынке этих услуг нет конкуренции, поэтому они развивается очень медленно и часто оказывают услуги некачественно.

Перевозка грузов и пассажиров в нашей республике осуществляется по горным дорогам. Особенности условий движения по высоте на горных дорогах обусловлены, в первую очередь, изменением отметки расположения участков дорог над уровнем моря.[1,3]