

*Шаршембиев Ж.С.*

**ОБОСНОВАНИЕ ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛЕСНЫХ  
МАШИН ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ПОДЪЕМ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Zh.S. Sharshembiev*

**SUBSTANTIATION OF THE TRACTION AND DYNAMIC PERFORMANCE OF  
WHEELED VEHICLES WHEN DRIVING ON THE RISE IN THE MOUNTAIN  
CONDITIONS OF OPERATION**

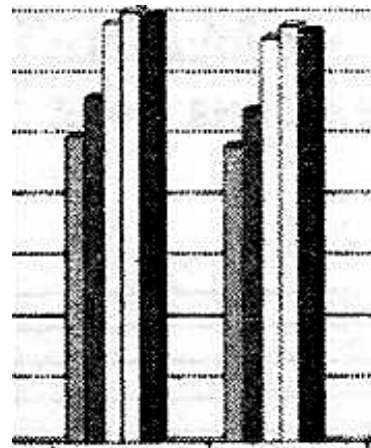
УДК:629.4.032(29)

*В статье приведены диаграмма изменения силы тяги различных марок автомобилей в зависимости от высоты над уровнем моря, графики изменения силы сопротивления подъему и силы сопротивления качению различных марок автомобилей в зависимости от продольного уклона горной автомобильной дороги, графики изменения силы сцепления различных марок автомобилей в зависимости от коэффициента сцепления шин при значениях продольного уклона дороги 5°, 10° и 14°.*

*The article presents the diagram of change of the force of the different brands of cars depending on the height above sea level, the graphs of changes of climbing resistance and strength of the rolling resistance of different brands of cars depending on the longitudinal slope of a mountain highway, the plots of the change of the force of adhesion of various brands of cars depending on the coefficient of adhesion between tyre with the values of the longitudinal slope of the road 5° and 14°.*

По результатам расчета нами были построены диаграмма изменения силы тяги различных марок автомобилей в зависимости от высоты над уровнем моря, графики изменения силы сопротивления подъему и силы сопротивления качению различных марок автомобилей в зависимости от продольного уклона горной автомобильной дороги, график изменения силы сцепления различных марок автомобилей в зависимости от коэффициента сцепления шин при значениях продольного уклона дороги 5°, 10° и 14°.

Как видно, из рис. 1 у грузового автомобиля-тягача марки МАЗ - 6312А8-360-015 с падением номинальной эффективной мощности двигателя числовое значение силы тяги на ведущих колесах на высоте 0 м над уровнем моря составляет 78,15 кН, а на высоте 4000 м над уровнем моря снижается до 67,21 кН. У грузового бортового автомобиля-тягача марки КамАЗ -5320 с падением номинальной эффективной мощности двигателя числовое значение силы тяги на ведущих колесах на высоте 0 м над уровнем моря составляет 56,1 кН, а на высоте 4000 м над уровнем моря снижается до 48,25 кН, т.е. на каждые 1000 м значение силы тяги снижается от 3 до 4%.



**Рис. 1.** Диаграмма изменения силы тяги различных марок автомобилей в зависимости от высоты над уровнем моря

На рис.2 приведена зависимость силы сопротивления подъема от продольного уклона горной автомобильной дороги. С увеличением продольного уклона дороги существенно повышается значения силы сопротивления подъему. Следует отметить, что чем больше полная масса колесной машины, чем выше числовое значение силы сопротивления подъему. Например, автомобиля марки МАЗ - 6312А8-360-015, у которого полная масса составляет 33450 кг, значения силы сопротивления подъему при продольном уклоне дороги 5° составляет всего 29,5 кН, а при 10° - 59,1 кН, т.е. два раза повышается. Для автомобиля марки MERCEDES-BENZ 814/817, у которого полная масса составляет 7490 кг, значения силы сопротивления подъему при продольном уклоне дороги 5° составляет 6,6 кН, а при 10° - 13,2 кН, т.е. также два раза повышается.

Из рис.3 видно, что числовое значение силы сопротивления качению различных марок автомобилей в зависимости от продольного уклона горной автомобильной дороги незначительно изменяется, например, у автомобиля КамАЗ - 53215 040-15 при движении на подъем с полной массой 19355 кг числовое значение силы сопротивления качению при продольном уклоне дороги 5° составляет 7,8 кН, а при значении продольного уклона 18° - 7,4 кН, т.е. ее числовое значение уменьшается на 5,12%.

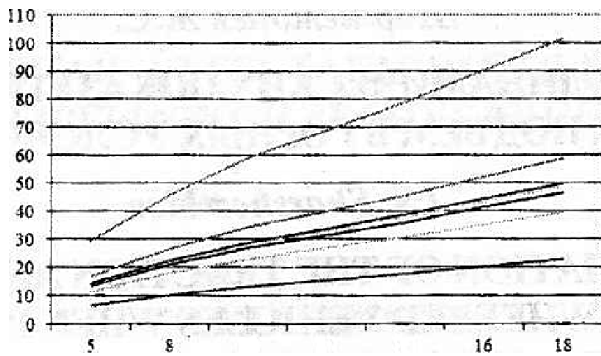


Рис. 2. График изменения силы сопротивления подъему различных марок автомобилей в зависимости от продольного уклона дороги

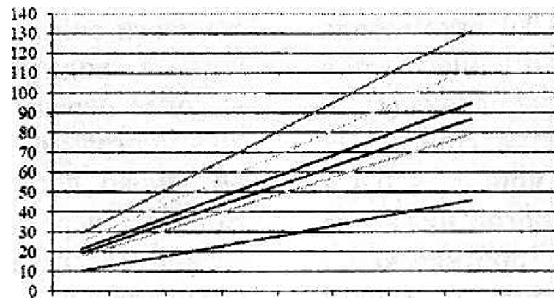


Рис. 3. График изменения силы сопротивления качению различных марок автомобилей в зависимости от продольного уклона дороги

Анализ приведенных графиков (рис.4, 5, 6) изменения силы сцепления различных марок автомобилей в зависимости от коэффициента сцепления шин при значениях продольного уклона дороги 5°, 10° и 14° показывает, что с изменением продольного уклона горной дороги числовые значения сил сцепления различных марок автомобилей существенно не изменяются, однако, ее значение в большей степени зависит от типа и состояния дорожной поверхности, а также от параметров шины, т.е. от коэффициента сцепления шины с дорогой.

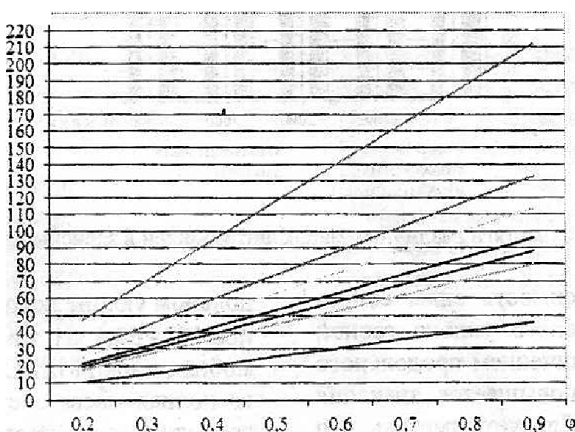


Рис. 4. График изменения силы сцепления различных марок автомобилей в зависимости от коэффициента сцепления шин при значении продольного уклона дороги 5°.

Например, у автомобиля марки MA3-6312A8-360-015 со стандартной шиной 315/80R22.5 и полной массой 33450 кг при движении на подъем с продоль-

ным уклоном 5°, на сухой асфальтобетонной дороге, т.е. при значении коэффициента сцепления шин с дорогой  $\phi_x = 0,9$ , значение силы сцепления составляет 211,83 кН, а на мокрой асфальтобетонной дороге ( $\phi_x = 0,5$ ) снижается до 117,68 кН, т.е. на 44,4%. При таких же одинаковых эксплуатационных условиях у автомобиля марки МБ 814 при  $\phi_x = 0,9$  значение силы сцепления составляет 46,11 кН, при  $\phi_x = 0,5$  значение силы сцепления снижается до 25,62 кН, т.е. также на 44,4%. Таким образом, можно сделать вывод о том, что числовое значение силы сцепления колесных машин различных марок и модификаций при движении на подъем незначительно зависит от изменения продольного уклона горной автомобильной дороги, а существенное влияние оказывает значение коэффициента сцепления шин с дорогой.

Используя разработанную компьютерную программу и результатов расчетных данных можно разработать номограмму для определения тягово-динамических показателей любого автомобиля при движении на подъем горной автомобильной дороге с учетом дорожных, природно-климатических факторов.

Как видно из разработанной номограммы рис.7 автомобиль марки КамАЗ-53215 040-15 при движении на подъем горной автомобильной дороге с асфальто-бетонным покрытием с продольным уклоном 16° и на высоте 3000 м над уровнем моря не может преодолеть данный подъем, так как линия силы тяги на ведущих колесах ( $F_T$ ) лежит ниже чем линии сил суммарного сопротивления к движению ( $F_{сопр.}$ ), т.е. условие  $F_{сопр.} < F_T$  не соблюдается. Таким образом, движение автомобиля ограничивается суммарной силой сопротивления движению.

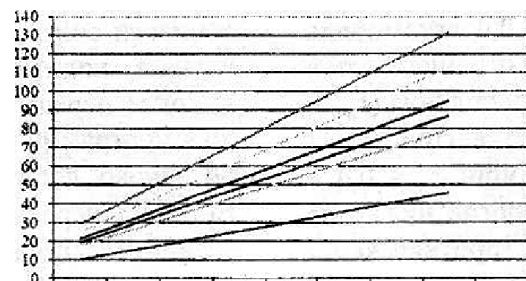


Рис. 5. График изменения силы сцепления различных марок автомобилей в зависимости от коэффициента сцепления шин при значении продольного уклона дороги 10°.

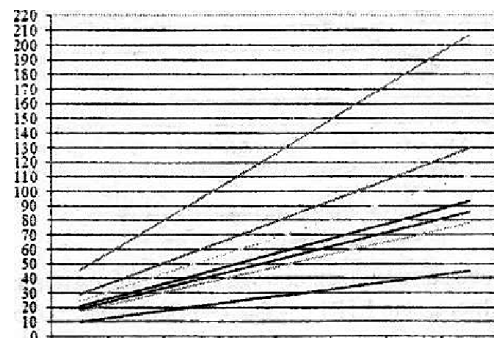


Рис. 6. График изменения силы сцепления различных марок автомобилей в зависимости от коэффициента сцепления шин при значении продольного уклона дороги 14°.

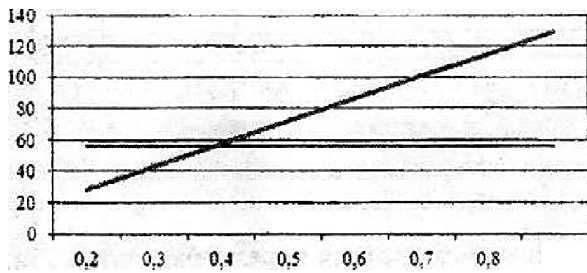


Рис. 7. Номограмма для определения тягово-динамических показателей автомобиля марки КамАЗ-53215 040-15 при движении на подъем горной автомобильной дороге на I передаче КПП с асфальто-бетонным покрытием с продольным уклоном 16° 3000 м над уровнем моря на различных значениях коэффициента сцепления шин.

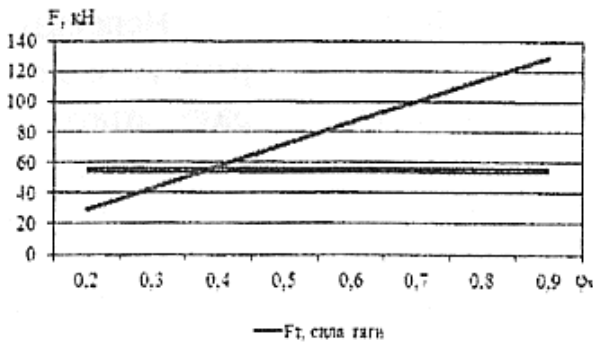


Рис. 8. Номограмма для определения тягово-динамических показателей автомобиля марки КамАЗ-53215 040-15 при движении на подъем горной автомобильной дороге на I передаче КПП с асфальто-бетонным покрытием с продольным уклоном 14° 3000 м над уровнем моря на различных значениях коэффициента сцепления шин.

Здесь как видно из номограммы 8 автомобиль марки КамАЗ-53215 040-15 при движении на подъем горной автомобильной дороге с асфальто-бетонным покрытием с продольным уклоном 14° и на высоте 3000 м над уровнем моря может преодолевать этот подъем, так как линия силы тяги на ведущих колесах ( $F_x$ ) лежит выше, чем линии суммарного сопротивления сил движению ( $F_{\text{сопр.}}$ ). Однако, при значениях коэффициента сцепления шин  $\phi_x < 0,4$  автомобиль начинает буксовать, т.е. движение ограничивается из-за недостаточного значения силы сцепления ( $F_{\text{сц.}}$ ), так как условие  $F_T < F_{\text{сц.}}$  не соблюдается. При малых значениях коэффициента сцепления шин  $\phi_x < 0,4$  в целях увеличения сцепления шин дорогой нужно на шины надевать специальные цепи противоскольжения, в противном случае автомобиль не может преодолевать данный участок дороги.

По приведенной номограмме на рис.9 можно отметить, что запас силы тяги автомобиля марки МАЗ-53363 на I передаче превышает суммарную силу сопротивления движения на 25,47 кН но при этом автомобиль может преодолевать данный подъем только в ясную погоду, так как коэффициент сцепления шин должен быть  $\phi_x > 0,75$ , в дождливую погоду автомобиль начинает буксовать из-за избыточности силы тяги на ведущих колесах. При таких случаях водитель должен переключить на более высокие передачи КПП. Изменяя передаточное чис-

ло в программе расчета  $i_{\text{кп1}} = 7,73$  на  $i_{\text{кп2}} = 5,52$  можно заново построить эту же номограмму (рис.10). Водитель переключая на II передачу КПП сокращает разницу запаса тяговой силы „на 5,32 кН, следовательно, сокращает расходы на топлива и увеличивает техническую скорость движения.

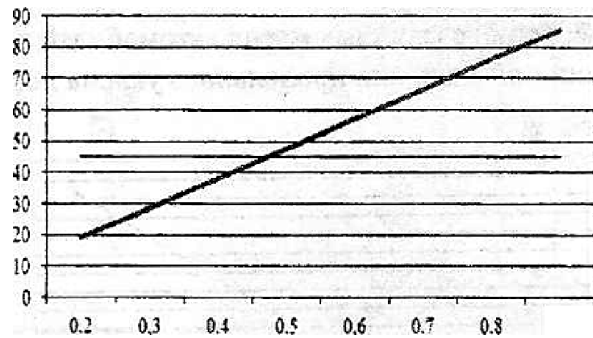


Рис. 9. Номограмма для определения тягово-динамических показателей автомобиля марки МАЗ-53363 при движении на подъем горной автомобильной дороге на I передаче КПП с асфальто-бетонным покрытием с продольным уклоном 14° 3000 м над уровнем моря на различных значениях коэффициента сцепления шин.

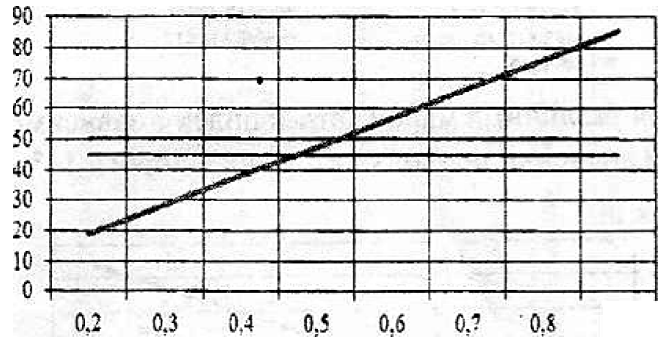
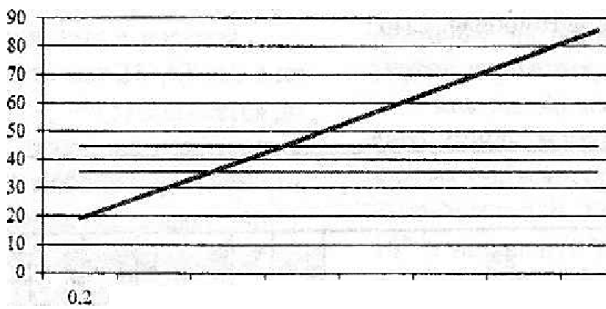


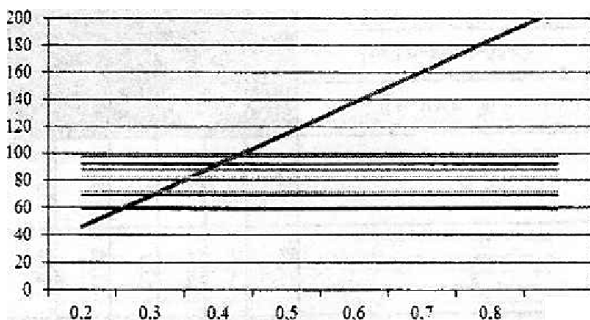
Рис. 10. Номограмма для определения тягово-динамических показателей автомобиля марки МАЗ-53363 при движении на подъем горной автомобильной дороге на II передаче КПП с асфальто-бетонным покрытием с продольным уклоном 14° 3000 м над уровнем моря на различных значениях коэффициента сцепления шин.

В случае водителем переключения еще на более высокую передачу КПП, т.е. на III передачу, после соответствующих изменений в программе расчета данная номограмма принимает следующий вид (рис.11). Как видно из номограммы на этой передаче числовое значение силы тяги на ведущих колесах становится меньше на 9,08 кН чем суммарной силы сопротивления качению и условие движения  $iF_{\text{сопр.}} < F_T$  не соблюдается. Таким образом, движение автомобиля ограничивается суммарной силой сопротивления движению. Водитель вынужден переключать на низшую II передачу КПП.



**Рис. 11.** Номограмма для определения тягово-динамических показателей автомобиля марки MAZ-53363 при движении на подъем горной автомобильной дороге на III передаче КПП с асфальто-бетонным покрытием с продольным уклоном  $14^\circ$  3000 м над уровнем моря на различных значениях коэффициента сцепления шин.

В номограмме показанной на рис.12 видно, что автомобиль-тягач марки MAZ-6312A8-360-015 при движении на подъеме горной автомобильной дороги 3000 м над уровнем моря на I передаче КПП с асфальто-бетонным покрытием не может преодолевать подъемные участки горных дорог с продольным уклоном  $14^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $10^\circ$ , так как линия суммарной силы сопротивления движению лежит выше чем линии силы тяги ведущих колес автомобиля. В этих эксплуатационных условиях автомобиль-тягач марки MAZ-6312A8-360-015 может преодолевать подъемы с максимальным значением продольного уклона дороги  $8^\circ$ . Однако, по номограмме видно, что данный автомобиль имеет достаточного запаса силы сцепления.



**Рис. 12.** Номограмма для определения тягово-динамических показателей автомобиля марки MAZ-6312A8-360-015 при движении на подъем горной автомобильной дороге на I передаче КПП с асфальто-бетонным покрытием с продольным уклоном  $14^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $10^\circ$  и  $8^\circ$  3000 м над уровнем моря на различных значениях коэффициента сцепления шин.

По техническим характеристикам автомобиль-тягач марки MAZ-6312A8-360-015 из числа выбранных автомобилей в нормальных условиях имеет самую высокую номинальную мощность двигателя 294 кВт, на высоте 3000 м над уровнем моря снижается до 261,6 кВт. Причиной малого числового значения силы тяги является низкое значение передаточного числа главной передачи -  $i_0 = 3,86$ , если конструктивно изменив ведущего моста автомобиля и принимаем  $i_0 = 4,89$ , тогда автомобиль-тягач этих же дорожных и природно-климатических условиях может преодолевать подъемные участки с продольным уклоном до  $12^\circ$ . При изменении передаточного числа главной передачи до 5,43 автомобиль-тягач имеет достаточную силу тяги  $F_T=97,84$  кН на ведущих колесах для преодоления подъемные участки горных автомобильных дорог с продольным уклоном до  $14^\circ$ .

В табл. 1 приведены оценочные показатели тягово-динамических свойств колесных машин различной модификации при движении на подъем с полной нагрузкой на I и II передачах КПП при различных дорожных и природно-климатических условиях эксплуатации. Представление результатов расчета тягово-динамических показателей колесных машин по разработанной математической модели в таком табличном виде позволяет их удобно использовать на практике. Например, водитель автомобиля КамАЗ-5320 с полной нагрузкой не выезжая на дальнюю поездку, только обладая необходимой информацией о дорожных и природно-климатических условиях по данным табл. 1 может оценить тягово-динамических свойств своего автомобиля.

#### Литература:

1. С.П. Масленников. Расчет тягово-динамических характеристик транспортных наземных машин: Учебное пособие. -Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1998. -62 с.
2. В.П Тарасик. Теория движения автомобиля. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. -478с.
3. Краткий автомобильный справочник. Том 2. Грузовые автомобили. Б.В. Кисулenco и др. М: ИПЦ «Финпол», 2004, - 667 с.

Оценка тягово-динамических свойств автомобиля марки КамАЗ-5320 при движении на подъем с полной нагрузкой на I и II передачах КПП при различных дорожных и природно-климатических условиях эксплуатации

Таблица 1

Тип и состояние дорожного покрытия, $\phi_s$	Проектный уклон дороги $\alpha^*$ (8,75%)					Проектный уклон дороги $10^*$ (17,65%)					Проектный уклон дороги $14^*$ (25%)								
	$\Sigma F_{\text{сум}} \text{ кН}$	Сила тяги на вращающихся колесах, $F_{\text{в}}, \text{кН}$ ( $i_1 = 4,03$ )				$\Sigma F_{\text{сум}} \text{ кН}$	Сила тяги на вращающихся колесах, $F_{\text{в}}, \text{кН}$ ( $i_1 = 7,82$ )				$\Sigma F_{\text{сум}} \text{ кН}$	Сила тяги на вращающихся колесах, $F_{\text{в}}, \text{кН}$ ( $i_1 = 7,82$ )				$\Sigma F_{\text{сум}} \text{ кН}$			
		0 м, н.у.м., 28,91	1000 м, н.у.м., 27,75	2000 м, н.у.м., 26,89	3000 м, н.у.м., 25,73		4000 м, н.у.м., 24,86	0 м, н.у.м., 56,1	1000 м, н.у.м., 53,86	2000 м, н.у.м., 52,17		3000 м, н.у.м., 49,93	4000 м, н.у.м., 48,25	0 м, н.у.м., 56,1	1000 м, н.у.м., 53,86		2000 м, н.у.м., 52,17	3000 м, н.у.м., 49,93	4000 м, н.у.м., 48,25
Асфальтобетон, сухой, $\phi_s = 0,9$	19,6	93,58	33,1	93,58	33,1	93,58	33,1	93,58	33,1	93,58	33,1	93,58	33,1	93,58	33,1	93,58	33,1	93,58	33,1
Грунтовая дорога, сухая, $\phi_s = 0,7$	19,6	74,34	33,1	74,34	33,1	74,34	33,1	74,34	33,1	74,34	33,1	74,34	33,1	74,34	33,1	74,34	33,1	74,34	33,1
Асфальтобетон, мокрый, $\phi_s = 0,6$	19,6	63,72	33,1	63,72	33,1	63,72	33,1	63,72	33,1	63,72	33,1	63,72	33,1	63,72	33,1	63,72	33,1	63,72	33,1
Грунтовая дорога, мокрая, $\phi_s = 0,5$	19,6	53,1	33,1	53,1	33,1	53,1	33,1	53,1	33,1	53,1	33,1	53,1	33,1	53,1	33,1	53,1	33,1	53,1	33,1
Асфальтобетон покрытый снегом, $\phi_s = 0,4$	19,6	42,48	33,1	42,48	33,1	42,48	33,1	42,48	33,1	42,48	33,1	42,48	33,1	42,48	33,1	42,48	33,1	42,48	33,1
Грунтовая дорога покрытая снегом, $\phi_s = 0,3$	19,6	31,86	33,1	31,86	33,1	31,86	33,1	31,86	33,1	31,86	33,1	31,86	33,1	31,86	33,1	31,86	33,1	31,86	33,1
Дорога покрытая льдом, $\phi_s = 0,2$	19,6	21,24	33,1	21,24	33,1	21,24	33,1	21,24	33,1	21,24	33,1	21,24	33,1	21,24	33,1	21,24	33,1	21,24	33,1

Примечание:



Рецензент: д.т.н., профессор Давлятов У.Р.