

УДК 631.3.072

ОСОБЕННОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТЯГ НАВЕСНОГО УСТРОЙСТВА В НАВЕСНОМ ПАХОТНОМ АГРЕГАТЕ

А.В. Захаров,

доцент каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Ващула,

директор ГУ «Белорусская МИС», канд. техн. наук

И.О. Захарова,

преподаватель каф. тракторов и автомобилей БГАТУ

В работе, исходя из условий рационального расположения мгновенного центра вращения тяг навесного устройства, получены зависимости для нахождения распределения веса по осям трактора с учетом продольной и вертикальной координат расположения последнего. Даны рекомендации по дополнительным настройкам навесного пахотного агрегата в виде номограммы и выражений для расчета углов установки верхней и нижних тяг навесного устройства.

Ключевые слова: трактор, навесной пахотный агрегат, навесное устройство, мгновенный центр вращения, удельный заглубляющий момент, номограмма, угол настройки верхней и нижней тяг.

Resulting from conditions of a rational arrangement of the instant rotation center of the hinged device's drafts, the dependences for stay distribution of weight on tractor axes taking into account longitudinal and vertical coordinates of the last arrangement have been received in the article. Recommendations on additional settings of the hinged arable unit in the form of nomogram and expressions for calculation of installation top corners and the lower drafts of the hinged device have been made.

Keywords: a tractor, the hinged arable unit, the hinged device, the instant center of rotation, the specific burying moment, the nomogram, a corner of control top and the lower drafts.

Введение

Как правило, перед работой навесного пахотного агрегата ограничиваются лишь регулировкой раскосов навесного устройства (НУ) и глубины обработки почвы. Однако этих регулировок недостаточно для наиболее эффективной работы агрегата. Очень важной эксплуатационной регулировкой навесного пахотного агрегата является оптимальное расположение мгновенного центра вращения (МЦВ) тяг навесного устройства трактора, через который проходит результирующая тягового сопротивления сельскохозяйственного орудия. При неправильном его расположении не выполняется условие устойчивости хода орудия, имеет место излишнее заглубление и увеличение нагрузки на опорном колесе, а также чрезмерная разгрузка передней оси трактора.

Результатом многолетних исследований по изучению влияния параметров навесного устройства на показатели силового взаимодействия трактора с сельскохозяйственным орудием, проводившихся на различных предприятиях и НИИ тракторно- и сельскохозяйственного машиностроения, является ГОСТ 10677-2001 [1].

Данный стандарт устанавливает три класса (категории по ИСО) НУ (табл. 1) с различной высотой присоединительного

треугольника. Кроме этого, ГОСТ 10677-2001 определяет продольную координату центра вращения (ЦВ) тяг НУ (рис. 1).

Также этот ГОСТ рекомендует не исключать применения других значений x_0 и Δ , если они обеспечивают устойчивый рабочий ход навесного сельскохозяйственного агрегата в различных почвенных условиях, когда они находятся в рабочем положении и выполняют сельскохозяйственную технологическую операцию.

Основная часть

Использовать рекомендации ГОСТа при настройке в пахотном агрегате оптимального расположения МЦВ достаточно сложно, да и не у всех навесных пахотных агрегатов можно выдержать тре-

Таблица 1. Размеры присоединительных элементов навесного устройства на тракторе

Тип навесного устройства	Тип трактора	m_3	x_0		Δ
			не менее	не более	не более
НУ-2	гусеничный колесный	400	0,5L	1,25L	7°
				1,25L	13°
НУ-3	гусеничный колесный	400	0,5L	0,8L	11°
НУ-4	гусеничный колесный			1,0L	
		1,5L	10°		

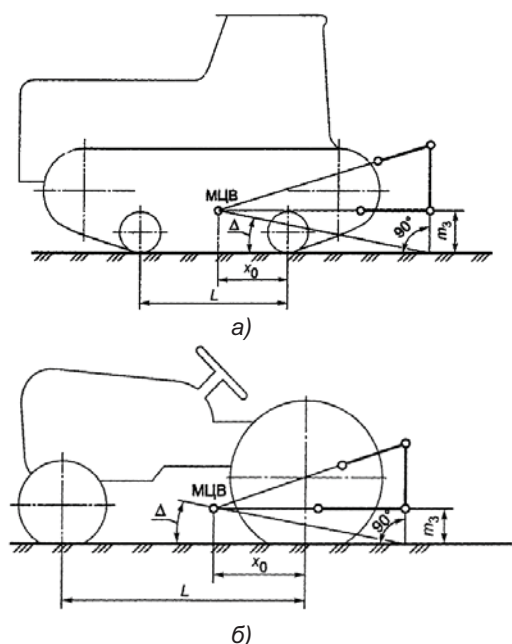


Рисунок 1. Схема определения x_0 и Δ : а) для гусеничного трактора; б) для колесного трактора

бования этого ГОСТа из-за различных особенностей конструкции. Поэтому располагать МЦВ тяг навесного устройства трактора в навесном пахотном агрегате необходимо так, чтобы выполнялись два условия:

- короткий путь заглабления орудия и стабильность глубины почвообработки;
 - минимальная разгрузка передней оси трактора.
- Первое условие достигается:

– обеспечением положительного значения удельного заглабляющего момента $M_{загл}$, приходящегося на единицу ширины захвата плуга. Для работы тракторных агрегатов с плугами общего назначения в средних почвенных условиях (с удельным сопротивлением почвы $k_y = (30...60) \text{ кН/м}^2$), оптимальное значение $M_{загл}$ составляет $4...5 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$. Для работы в наиболее тяжелых условиях ($k_y = (70...80) \text{ кН/м}^2$ – плотные почвы и затупленные лемеха) $M_{загл} = 6...8 \text{ кН}\cdot\text{м/м}$ [2, 3];

– расположением МЦВ тяг навески впереди оси подвеса (ось, проходящая через точки крепления сельскохозяйственного орудия к тягам трактора). В этом случае угол входа рабочих органов орудия γ должен иметь положительное значение и находиться в пределах $\gamma = 3^\circ...5^\circ$ [2, 3].

Второго условия можно достичь, определив зависимость изменения распределения нагрузки по осям трактора от расположения МЦВ. Для исследования взят навесной пахотный агрегат «Беларус 1221»+ПЛН-4-35П.

Рассмотрим силы, действующие в продольно-вертикальной плоскости ux на трактор со стороны навесного орудия с опорным колесом при отсутствии избыточного давления в силовом цилиндре (рис. 2).

Если раскосы навесного устройства (НУ) разгружены, усилия, действующие в нижних тягах AB , направлены вдоль этих тяг. На рис. 2 показано положение нижнего условного звена AB , которое определяет направление проекции T_{AB}^{yx} , равнодействующей

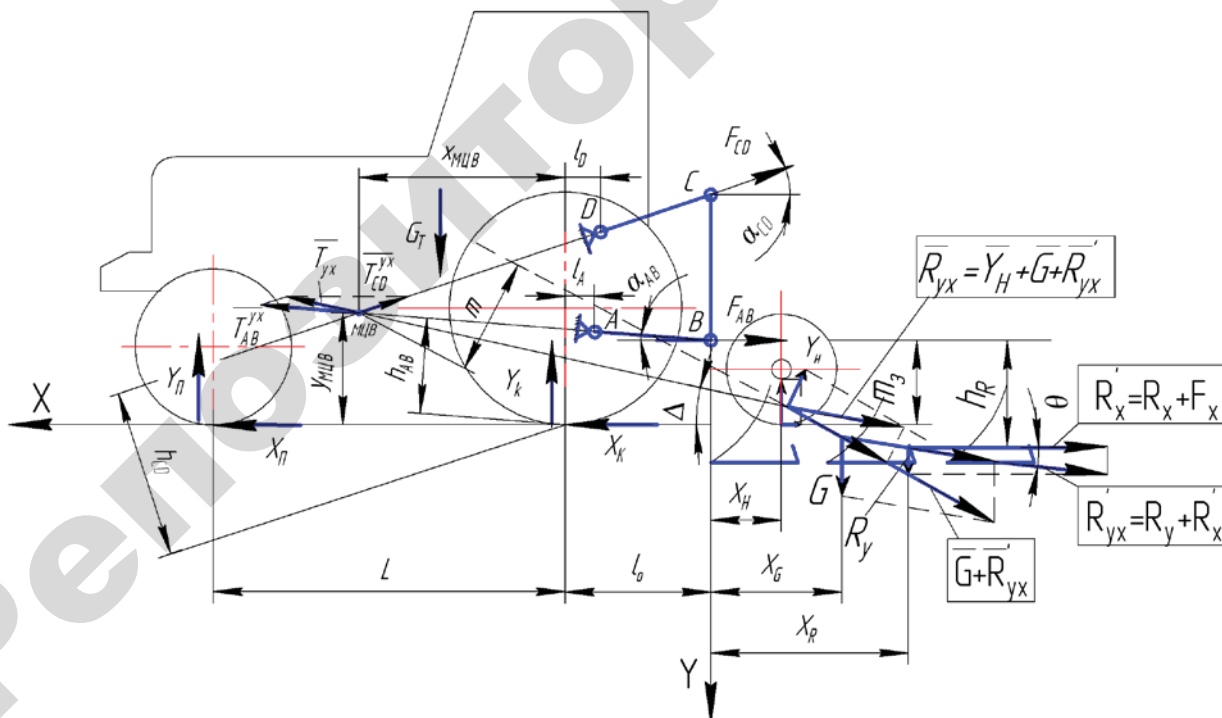


Рисунок 2. Схема сил, действующих на навесной пахотный агрегат в продольно-вертикальной плоскости при установившемся движении

усилий T_{AB}^{yxl} и T_{AB}^{yxp} , действующих в нижних тягах НУ – левой и правой, кН.

К трактору приложим внешние силы:

G_T – веса трактора, кН;

Y_n, Y_k, X_n и X_k – реакции колес передних и задних, соответственно, нормальные и тангенциальные, кН;

F_{AB} и F_{CD} – в точках креплений A и D тяг НУ на тракторе, кН.

На орудие с опорным колесом действуют следующие внешние силы:

G – вес орудия, кН;

Y_H – нормальная реакция опорного колеса орудия, кН;

$\overline{R'_{yx}} = \overline{R_y} + \overline{R'_x}$ – результирующий вектор сил сопротивления рабочих органов орудия в продольно-вертикальной плоскости, включая силу F_x трения полевых досок о стенку борозды, и действующее на них нормальное усилие F_y прижатия к дну борозды.

На рис. 2 также показана $\overline{T_{AB}^{yx}} = \overline{T_{AB}^{yxl}} + \overline{T_{AB}^{yxp}}$ – проекция на плоскость yx суммы усилий в нижнем условном звене НУ, включающем нижние тяги, $\overline{T_{CD}^{yx}}$ – проекция усилия в верхней тяге НУ на плоскость yx .

Координатные оси на рис. 2 проведены следующим образом: Y – через ось подвеса вниз; X – через точку пересечения оси Y с опорной поверхностью – вперед.

С учетом принятых обозначений, условия равновесия орудия в продольно-вертикальной плоскости определяются следующими уравнениями проекций сил:

$$\begin{cases} \Sigma X = -T_{CD}^{yx} \cos \alpha_{CD} + T_{AB}^{yx} \cos \alpha_{AB} - R'_x - P_{fH} = 0, \\ \Sigma Y = -T_{CD}^{yx} \sin \alpha_{CD} - T_{AB}^{yx} \sin \alpha_{AB} + G \pm R_y - Y_H = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где α_{CD} – угол наклона верхней тяги CD к горизонтали, $\alpha_{CD} = \frac{\pi}{2} - \beta = \alpha - \alpha_{AB}$;

α – угол между осями верхней и нижней тяг НУ;

α_{AB} – угол наклона нижней тяги к горизонтали,

$$\alpha_{AB} = \frac{\pi}{2} - \gamma;$$

β и γ – углы наклона соответствующих звеньев CD и AB к вертикали;

P_{fH} – сила сопротивления перекачиванию опорного колеса орудия, кН; ($P_{fH} = f_H Y_H^0$, а $\overline{Y_H} = \overline{Y_H^0} + \overline{P_{fH}}$),

где f_H – коэффициент сопротивления перекачиванию опорного колеса орудия.

Усилие в верхней тяге CD можно определить из уравнения моментов (2) относительно оси подвеса (точки B)

$$\begin{aligned} \Sigma M_B = 0; T_{CD}^{yx} r_{BC} \sin[M^0 - (\alpha - \alpha_{AB})] + G x_G \pm \\ \pm R'_y x_R - Y_H (x_H + f_H m_3) - R'_x h_R = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где M^0 – угол между стойкой BC и рамой орудия $\angle M^0 \approx 90^0$;

r_{BC} – высота стойки, м;

x_H и m_3 – горизонтальная и вертикальная к опорной поверхности координаты центра пятна контакта колеса орудия от оси подвеса B , м;

$h_R = m_3 + h_{пл} / 2$ – нормальная к опорной поверхности координата действия силы R'_x от оси подвеса B , м.

Два уравнения системы (1) выражают условие, что при равновесии орудия равнодействующая R_{yx} всех сил сопротивления и веса орудия проходит через центр вращения тяг навески механизма навесного устройства, т.е.

$$\overline{R_{yx}} = \overline{T_{yx}}, \quad (3)$$

где $\overline{R_{yx}} = \overline{Y_H} + \overline{G} + \overline{R'_{yx}}$ – вектор суммы сил сопротивления и веса орудия;

$\overline{T_{yx}} = \overline{T_{AB}^{yx}} + \overline{T_{CD}^{yx}}$ – вектор суммарного усилия в тягах НУ.

При практических расчетах значения R'_x , R_y и f_H принимают в соответствии с экспериментальными данными. По данным научно-исследовательского института ВИСХОМ [3, 4], коэффициент сопротивления перекачиванию f_H опорного колеса можно принять равным 0,15 на плотных и 0,20 на рыхлых почвах, а силу трения F_x полевых досок о стенку борозды $F_x \approx \frac{1}{6} R_x$, ($R_x = k_y ab$ – тяговое сопротивление орудия с шириной захвата b при пахоте на глубину a на почвах с удельным сопротивлением k_y , Н/м²).

По этим же данным вертикальная составляющая силы сопротивления будет равна $R_y \approx \pm 0,25 R_x$, причем, верхний знак определяет направление R_y (рис. 2) вниз (при острых лемехах), а нижний знак – вверх (при затупленных лемехах). С учетом знака R'_x может принимать значение: $R'_x = R_x + F_x \approx 1 \frac{1}{6} R_x$.

Для практических расчетов усилий в тягах навески поперечную составляющую силы сопротивления плуга можно принимать: $R_z = \frac{1}{3} R_x$ (по Г.Н. Синеокову) [3].

Удельное сопротивление k_y в выражении для R_x учитывает только сопротивление на деформации и оборот пласта. Для практических расчетов можно принимать: $R'_x = k_y ab$.

Вектор \bar{T}_{yx} разложим на горизонтальную T_x^{yx} и вертикальную T_y^{yx} составляющие, приложенные в МЦВ:

$$T_x^{yx} = T_{AB}^{yx} \cos \alpha_{AB} - T_{CD}^{yx} \cos \alpha_{CD}, \quad (4)$$

$$T_y^{yx} = -T_{AB}^{yx} \sin \alpha_{AB} - T_{CD}^{yx} \sin \alpha_{CD}. \quad (5)$$

При этих условиях определим распределение веса по осям трактора:

$$Y_{II} = G_{II} + \frac{T_y^{yx} x_{МЦВ} - T_x^{yx} y_{МЦВ} - M_f}{L}, \quad (6)$$

$$Y_K = G_K + \frac{T_y^{yx} (L - x_{МЦВ}) + T_x^{yx} y_{МЦВ} + M_f}{L}, \quad (7)$$

где G_{II}, G_K – составляющие веса трактора, приходящиеся, соответственно, на переднюю и заднюю оси в статике, кН;

$y_{МЦВ} = m_3 + (\rho_{AO} + r_{AB}) \operatorname{tg} \alpha_{AB}$ и $x_{МЦВ}$ – вертикальная и горизонтальная координаты МЦВ тяг навесного устройства м;

r_{AB} и ρ_{AO} – расстояния, соответственно, от оси подвеса B до точки A крепления нижних тяг на тракторе и от точки A до МЦВ, м;

L – колесная база трактора, м.

Перераспределение веса ΔY между передними и задними колесами в продольной плоскости yx (рис. 2) можно найти по выражению

$$\Delta Y = \frac{T_{AB}^{yx} h_{AB} - T_{CD}^{yx} h_{CD}}{L}, \quad (8)$$

где h_{AB} и h_{CD} – плечи действия усилий T_{AB}^{yx} и T_{CD}^{yx} относительно центра пятна контакта задних колес, м.

Плечи h_{AB} и h_{CD} определим из следующих соображений.

Высота точки пересечения оси нижней тяги с нормалью, проведенной через ось заднего колеса

$$h_{AB} = y_{МЦВ} - x_{МЦВ} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{AB}, \quad (9)$$

при $\alpha_{AB} \approx 0$ получим $h_{AB} = m_3 = 0,4$ м.

Высота точки пересечения оси верхней тяги с осью заднего колеса

$$h_{CD} \approx (m_3 + r_{BC}) - l_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{CD}, \quad (10)$$

при $m_3 = 0,4$ м, $r_{BC} = 1,1$ м, $l_0 = 1,5$ м,

$\alpha_{CD} = 10^\circ$, получим $h_{CD} = 1,01$ м.

Представим оба условия рационального расположения МЦВ в виде номограммы (рис. 3).

На ней одновременно показаны зависимости изменения удельного заглубляющего момента $M_{заг}$

согласно выражениям, предложенным профессором Бурченко П.Н. [5], и распределения нагрузки по осям трактора от координат $y_{МЦВ}$ и $x_{МЦВ}$ расположения МЦВ. Для расчетов взяты все масса-геометрические параметры навесного пахотного агрегата «Беларус 1221»+ ПЛН-4-35П [6, 7].

Из номограммы (рис. 3) видно, что вертикальная $y_{МЦВ}$ и горизонтальная $x_{МЦВ}$ координаты МЦВ тяг навесного устройства трактора «Беларус 1221» в агрегате с плугом ПЛН-4-35П исходя из первого условия лежат в пределах $y_{МЦВ} = 0,28 \dots 0,63$ м, $x_{МЦВ} = 0,8 \dots 2,2$ м. Однако для удовлетворения второго условия подходят координаты, близкие к верхним границам. Поэтому можно принять $y_{МЦВ} = 0,6$ м, $x_{МЦВ} = 2,0$ м.

Для удобства реализации полученных результатов номограммы при выполнении настроек пахотного агрегата, найденные координаты подставим в выражения (11) и (12) для нахождения углов настройки верхней α_{CD} и нижних α_{AB} тяг навесного устройства трактора:

$$\alpha_{CD} = \operatorname{arctg} \frac{h_D - y_{МЦВ}}{x_{МЦВ} + l_D}, \quad (11)$$

$$\alpha_{AB} = \operatorname{arctg} \frac{y_{МЦВ} - h_A}{x_{МЦВ} + l_A}, \quad (12)$$

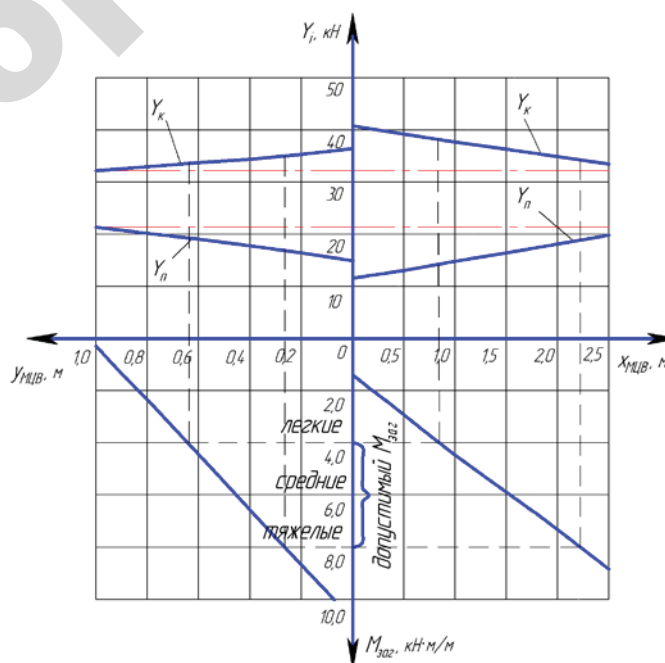


Рисунок 3. Номограмма для определения координат $y_{МЦВ}$ и $x_{МЦВ}$ расположения МЦВ

где l_D, l_A и h_D, h_A – продольная и нормальная координаты шарниров крепления верхней и нижних тяг относительно центра пятна контакта задних колес, м.

Такие номограммы должны располагаться в руководствах по эксплуатации тракторов в разделе «агрегатирование», где также имеются рекомендации по балластированию, сдвиганию колес, расстановке колеи и т.д.

Выводы

Для настройки навесного пахотного агрегата на примере «Беларус 1221»+ ПЛН-4-35П не достаточно регулировки длины раскосов (при движении трактора правыми колесами по дну борозды) и глубины обработки почвы. При неправильном расположении МЦВ тяг навесного устройства не выполняется условие устойчивости хода орудия, имеет место излишнее заглубление рабочих органов и увеличение нагрузки на опорном колесе, а также чрезмерная разгрузка передней оси трактора. В процессе настройки навесного пахотного агрегата необходимо:

1) после агрегатирования трактора с плугом и необходимых регулировок длины раскосов и глубины обработки почвы, определиться с почвенными условиями (легкие, средние, тяжелые) и соответственно с величиной удельного заглубляющего момента $M_{загл}$;

2) при помощи номограммы (рис. 3) в соответствии с выбранным удельным заглубляющим моментом $M_{загл}$ определить необходимые вертикальную $y_{МЦВ}$ и горизонтальную $x_{МЦВ}$ координаты МЦВ тяг навесного устройства трактора;

3) найденные координаты МЦВ подставить в выражения (11 и 12) для нахождения углов установки верхней α_{CD} и нижних α_{AB} тяг навесного устройства трактора. В результате дополнительные настройки навесного пахотного агрегата снизят разгрузку пе-

редней оси трактора на 15...20 %, а за счет снижения буксования и повышения тяговой мощности трактора тяговый КПД $\eta_{тяг}$ возрастет на 6...8 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устройство навесное заднее сельскохозяйственных тракторов классов 0,6 – 8. Типы, основные параметры и размеры: ГОСТ 10677-2001. – Введ. 01.03.03. – М.: Госстандарт РФ, 2003. – 7 с.
2. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 2-х т. / А.В. Красниченко [и др.]. – Т. 2. – М.: Машиностроение, 1962. – 862 с.
3. Синеоков, Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1965. – 310 с.
4. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / Б.Г. Турбин. – Ленинград: Машиностроение, 1967. – 577 с.
5. Бурченко, П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения: монография / П.Н. Бурченко. – М.: ВИМ, 2002. – 212 с.
6. Коган, А.М. Трактор «Беларус 1221/1221.2». Руководство по эксплуатации / А.М. Коган, С.В. Ярошевич; под ред. М.Г. Мелешко / ПО «Минский тракторный завод», 2003. – 219 с.
7. Плуги четырехкорпусные навесные ПЛН-4-35П, ПЛН-4-35П-2-000РЭ. Руководство по эксплуатации. – ПРУП «Минский завод шестерен», 2003. – 31 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.01.2016

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.

Стоимость подписки на 1-е полугодие 2016 года: для индивидуальных подписчиков - 123 600 руб., ведомственная подписка - 152 052 руб.