

имеет более низкую себестоимость (110,0 у.е/ц) и может быть реализована населению по более низкой цене, что весьма актуально для отрасли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Винберг, Г.Г. Удобрение прудов/ Г.Г.Винберг, В.П.Ляхнович. – М.: «Пищ. пром.». – 1965. – 272 с.

2. Выращивание товарной рыбы на естественных кормах в условиях поликультуры/Г.П.Воронова [и др.]/Стратегия развития аквакультуры в условиях XXI века: материалы Междунар. науч. – практич. конф., Минск, 23-27 августа 2004 г./ Мн: ОДО «Тонпик»,

2004. – С. 282-285.

3. Рыбоводно-биологические нормы для эксплуатации прудовых хозяйств/ В.И.Федорченко [и др.]. – М., 1985. – 54 с.

4. Винберг, Г.Г. Первичная продукция водоемов/ Г.Г.Винберг. – Мн.: АН БССР. – 1960. – 329 с.

5. Продукция планктонных ракообразных в трех озерах разного типа/ Г.Г. Винберг [и др.] //Зоологич. ж-л, 1965. – Т. XLIX. – Вып. 5. – С. 676-688.

6. Гордон, Л.М. Пути повышения эффективности товарного рыбоводства/Л.М.Гордон, Л.А.Эрман. – М: Пищ. пром. – 1974. – 286 с.

УДК 629.114.2 – 182.8

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 9.06.2009

## ВЛИЯНИЕ ГРУЗОПОДЪЁМНОСТИ ТРАКТОРОВ “БЕЛАРУС” НА ФОРМИРОВАНИЕ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

В.Б. Попов, канд. техн. наук, доцент (УО ГГТУ им. П.О. Сухого)

#### Аннотация

*В статье рассмотрена методика формирования математической модели подъема навесной машины при помощи подъемно-навесного устройства (ПНУ) колесного трактора. Получены аналитические выражения, позволяющие рассчитать грузоподъемность его ПНУ, а также параметры МТА, ограничивающие грузоподъемность. Приводится расчет выходных параметров подъемно-навесного устройства «Беларус-1221», агрегируемого с валковой жаткой ЖСК-4В*

#### Введение

Выпускаемые ПО “МТЗ” трактора “Беларус”, широко распространены как в Республике Беларусь, так и за её пределами. На повестке дня всегда стоял вопрос об агрегатировании колесных тракторов с различными навесными рабочими орудиями и машинами. Обоснованное положительное заключение о возможности агрегатирования тракторов “Беларус” с наибольшим количеством типов навесных орудий и машин отечественного и импортного производства является предпосылкой как для расширения рынка сбыта этих образцов отечественной техники, так и для более широкого их использования в хозяйствах.

Для агрегатирования колесного трактора с навесной машиной необходимо обеспечение следующих условий:

– достаточной грузоподъемности подъемно-навесного устройства;

– выполнение условия управляемости МТА в режиме транспортного переезда;

– выполнение компоновочных ограничений для МТА с рабочим орудием в транспортном положении.

В данных по подъемно-навесным устройствам тракторов “Беларус” [1] сообщается об их грузоподъемности на оси подвеса и на вылете 610 мм, опреде-

ляющих возможность перевода навесной машины (НМ) из рабочего положения в транспортное. Эти данные позволяют лишь ориентировочно судить о возможности агрегатирования в энергетическом аспекте. Среди прочего, грузоподъемность ПНУ трактора зависит также от регулировки раскосов и верхней тяги механизма навески (МН), которые, в свою очередь, зависят от присоединительных параметров НМ. В создавшихся условиях необходим инструмент, обеспечивающий гибкое реагирование по проблеме агрегатирования с новым или модернизированным рабочим орудием (машиной).

Целью работы является выработка рекомендаций о возможности агрегатирования трактора и навесной машины по результатам вычислительного эксперимента на сформированной функциональной математической модели.

#### Основная часть

Под грузоподъемностью ПНУ трактора понимается его способность переводить из рабочего положения в транспортное навесную машину, характеризующуюся поднимаемым весом и координатами центра тяжести [2].

В качестве примера в работе аналитически были определены грузоподъемность ПНУ трактора “Беларус 1221” на оси подвеса и на расстоянии 610 мм от нее, а

также параметр управляемости МТА при транспортном переезде.

Для этого была разработана математическая модель (ММ), описывающая перевод навесной машины из рабочего положения в транспортное (рис.1), и позволяющая провести анализ геометрических, кинематических и силовых выходных параметров ПНУ.

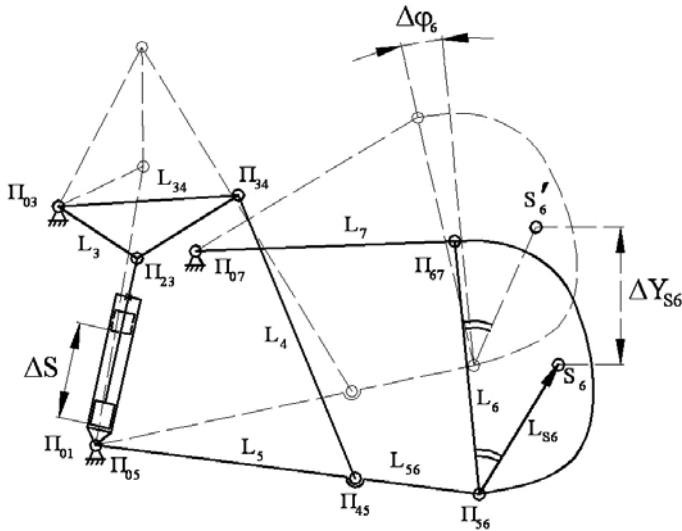


Рисунок 1. Схема перевода навесной машины в транспортное положение механизмом навески колесного трактора:

$L_{ij}$  – линейные размеры звеньев МН;  $\Pi_{ij}$  – шарнирные пары МН

МН трактора “Беларус1221” представляет собой пространственный механизм, геометрическая модель которого, с целью понижения порядка ММ, преобразуется в её плоский аналог путём проецирования элементов МН на продольно-вертикальную плоскость симметрии МТА. Структурно плоский аналог МН включает четырехзвеник, к которому последовательно присоединены две группы Ассур 2-го порядка, 1-го вида. МН и НМ формируют замкнутую кинематическую цепь в виде одноподвижного восьмизвенного рычажного механизма. Изменение входной координаты ( $\Delta S$ ) МН однозначно связано с изменением его выходных координат ( $\Delta\varphi_6, \Delta Y_{S6}, \Delta X_{S6}$ ).

Механизмы навески тракторов “Беларус” отличаются лишь ориентацией 1-го четырехзвенника – механизма с качающимся цилиндром. Анализ замкнутой кинематической цепи выполняется последовательно, в соответствии с её структурой и на основании метода замкнутых векторных контуров [3]. Так, например, анализ замкнутого контура  $\Pi_{01}, \Pi_{23}, \Pi_{03}, \Pi_{34}$  (рис. 2) позволяет определить его выходные параметры: углы  $\varphi_{12}, \varphi_3, \varphi_{34}$  и координаты центров подвижных шарниров  $\Pi_{23}$  и  $\Pi_{34}$  в зависимости

от обобщенной координаты  $S$ .

Анализ геометрических и кинематических параметров механизма проводился по методу замкнутых векторных контуров с дифференцированием аналитических выражений по обобщенной координате.

В результате кинематического анализа были получены аналитические выражения для определения передаточных чисел МН и грузоподъемности ПНУ.

Передаточное число МН на оси подвеса [4]:

$$I_m(S) = \varphi'_5(S) \cdot L_{56} \cdot \cos(\varphi_5(S)),$$

где  $\varphi'_5(S) = \frac{d\varphi_5}{dS}$  – аналог угловой скорости нижней тяги;

$L_{56}$  – длина нижней тяги;

$\varphi_5(S)$  – угол, образуемый нижней тягой в правой системе координат.

Передаточное число МН на расстоянии 610 мм от оси подвеса:

$$I_{610}(S) = I_m(S) + \varphi'_6(S) \cdot L_{610} \cdot \cos(\varphi_6(S)),$$

где  $\varphi'_6(S) = \frac{d\varphi_6}{dS}$  – аналог угловой скорости навесной машины;

$\varphi_6(S)$  – угол наклона навесной машины;

$L_{610} = 610 \text{ мм}$ .

Изменение грузоподъемности ПНУ при переводе навесной машины из рабочего положения в транспортное обусловлено изменением передаточного числа МН, тогда как параметры гидросистемы остаются неизменными. Грузоподъемность ПНУ определяется по формулам:

$$G_m(S) = \frac{p_2^{\max} \cdot \eta \cdot S_{ГЦ}}{I_m(S)};$$

$$G_{610}(S) = \frac{p_2^{\max} \cdot \eta \cdot S_{ГЦ}}{I_{610}(S)},$$

где  $G_m(S)$  – грузоподъемность ПНУ на оси

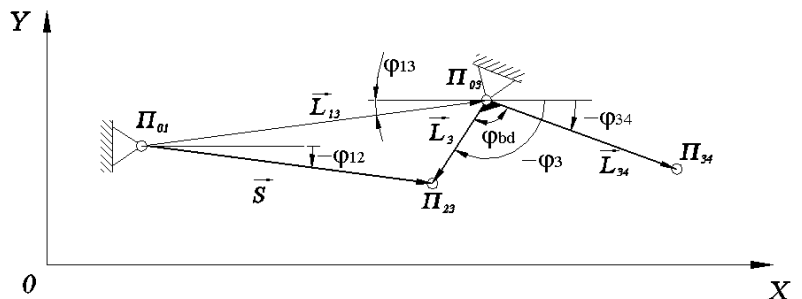


Рисунок 2. Векторная интерпретация 1-го четырехзвенника МН трактора “Беларус 1221”

подвеса;

$G_{610}(S)$  – грузоподъемность ПНУ на расстоянии 610мм от оси подвеса;

$p_c^{\max}$  – максимально возможное давление в гидроцилиндре МН;

$\eta$  – КПД МН;

$S_{ГЦ}$  – суммарная площадь поршней рабочих гидроцилиндров.

Время перевода НМ из рабочего положения в транспортное определяется как отношение рабочего объёма гидроцилиндров к подаче насоса с учетом объёмного КПД насоса, при этом не учитывается время переходного процесса нарастания давления в гидроцилиндре при переключении гидрораспределителя гидросистемы трактора из-за его сравнительной быстротечности:

$$t_{под} = \frac{V_{зц}}{q \cdot n \cdot \eta_{об}},$$

где  $V_{зц}$  – суммарный рабочий объём гидроцилиндров;

$\eta_{об}$  – объёмный КПД гидронасоса;

$q$  – производительность гидронасоса;

$n$  – частота вращения вала гидронасоса.

Расчет показывает, что время перевода навесной машины в транспортное положение составляет 3.5-3.8 с. Скорость подъема при этом составляет 0.06-0.07 м/с. В связи с относительной тихоходностью механизма навески в ФММ не учитывались силы инерции, возникающие при переводе НМ в транспортное положение [5].

В транспортном положении НМ опрокидывающий момент относительно точки А, создаваемый её весом приобретает максимальное значение [6]. Из практики эксплуатации МТА было принято, что для устойчивого управления движением агрегата часть его веса, приходящаяся на мост управляемых колес (точка А), должна составлять не менее 20% от общего веса МТА (рис. 3).

Для расчёта параметра управляемости трактора при транспортном переезде было составлено уравнение равновесия моментов сил, действующих на МТА относительно точки опоры ведущих колес:

$$\sum M_B = P_{zp} \cdot (a + L) + P_{mp} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6} - R_A \cdot L = 0,$$

где  $P_{zp}$  – вес противовеса;  $P_{mp}$  – вес трактора;

$P_6$  – вес навесной машины;

$R_A$  – нагрузка, приходящаяся на мост управляемых колёс;

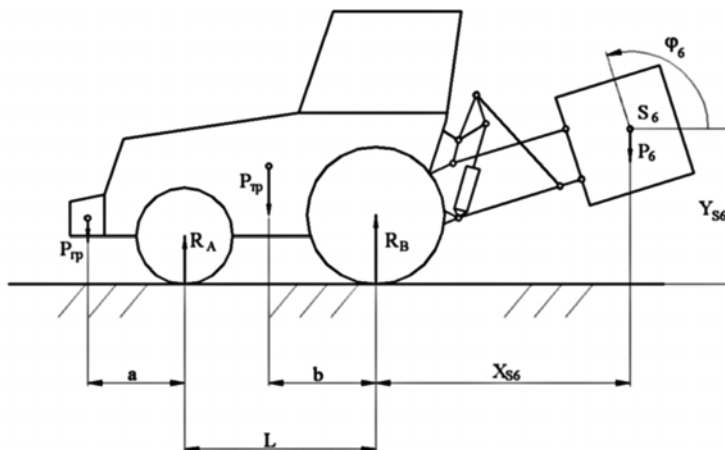


Рисунок 3. Схема сил, действующих на опорную поверхность со стороны машинно-тракторного агрегата при поднятой навесной машине

$X_{S6}$  – горизонтальная координата центра тяжести навесной машины;

$L$  – база трактора;

$a$  и  $b$  – расстояние от вертикальной проекции центра тяжести трактора до вертикальных проекций центра тяжести противовеса и оси моста ведущих колес соответственно.

Разрешив уравнение моментов сил, относительно реакции на управляемом колесе, вместе с упомянутым выше ограничением получим систему, состоящую из уравнения и неравенства:

$$\begin{cases} R_A = \frac{P_{mp} \cdot (L - b) - P_6 \cdot (X_{S6}^{\max} - L) + P_{zp} \cdot (L + a)}{L} \\ R_A \geq 0.2 \cdot (P_{mp} + P_6 + P_{zp}) \end{cases} \quad (1)$$

В результате решения системы (1) получаем условие управляемости МТА, ограничивающее вес агрегатируемого с трактором рабочего орудия:

$$P_6 \leq \frac{P_{mp} \cdot (b - 0.2 \cdot L) + P_{zp} \cdot (a + 0.8L)}{X_{S6} + 0.2 \cdot L},$$

$$\text{откуда } R_B = \frac{P_{zp} \cdot (a + L) + P_{mp} \cdot b - P_6 \cdot X_{S6}}{L}.$$

$$\text{Параметр управляемости } k = \frac{R_A}{P_{mp} + P_{zp} + P_6}.$$

#### Результаты анализа подъема жатки валковой ЖСК-4В

В результате вычислительного эксперимента на основе разработанной ММ были получены выходные характеристики нагруженного подъемно-навесного устройства, которые представлены в графической (рис. 4, 5) и табличной форме. Расчет параметров ПНУ велся при агрегатировании трак-

**Таблица 1. Выходные параметры МН И НМ**

Геометрические параметры					Кинематические параметры				
S	$Y_{56}(S)$	$X_{56}(S)$	$Y_{56}(S)$	$\varphi_6(S)$	$\varphi_3'(S)$	$U_{53}(S)$	$U_{63}(S)$	$\varphi_6'(S)$	$I_s(S)$
[M]	[M]	[M]	[M]	[ГРАД]	[1/M]	[-]**	[-]	[1/M]	[-]
0,515	0,191	-*	-	-	13,309	0,597	0,222	2,954	8,695
0,535	0,305	1,819	0,340	88,551	9,365	0,651	0,284	2,662	7,164
0,555	0,403	1,832	0,478	91,606	7,958	0,675	0,339	2,697	6,647
0,575	0,492	1,831	0,608	94,777	7,260	0,685	0,393	2,852	6,427
0,595	0,577	1,818	0,736	98,174	6,888	0,687	0,448	3,089	6,343
0,615	0,657	1,794	0,862	101,882	6,709	0,682	0,506	3,396	6,336
0,635	0,733	1,759	0,989	105,983	6,668	0,670	0,566	3,772	6,369
0,655	0,806	1,711	1,117	110,554	6,746	0,651	0,625	4,217	6,411
0,675	0,875	1,650	1,246	115,670	6,944	0,624	0,680	4,722	6,426
0,695	0,941	1,574	1,374	121,390	7,285	0,586	0,723	5,264	6,362
0,715	1,002	1,481	1,499	127,731	7,824	0,535	0,741	5,795	6,148

\* – расчет агрегатирования жатки валковой ЖСК-4в выполнен для условия, когда высота оси подвеса ( $Y_{56}$ ) МН «БЕЛАРУС 1221» в рабочем положении составляет 0.30 м.  
\*\* [-] – безразмерная величина.

тора «Беларус 1221» с жаткой валковой ЖСК-4В. В дальнейшем планируется проанализировать работу этого ПНУ и с другими навесными с/х машинами и орудиями (плугами).

Геометрические и кинематические выходные параметры МН «Беларус 1221» представлены в табл. 1.

Расчеты выходных параметров ПНУ «Беларус 1221» представлены в табл. 2.

**Выводы**

Рабочее орудие, имеющее, с позиций грузоподъемности ПНУ, минимальную массу, в процессе подъема может нарушить управляемость МТА.

Грузоподъемность МТА всегда меньше грузоподъемности ПНУ, поскольку последняя ограничивается требованием управляемости МТА. В самом деле, установив в механизм навески гидроцилиндры с большей площадью сечения поршня, можно увеличить грузоподъемность ПНУ, но это не изменит соотношение параметров, определяющих управляемость МТА.

Грузоподъемность, как показатель качества агрегатирования трактора с рабочим орудием, определяется одновременно:

- параметрами гидропривода ПНУ;
- величинами аналогов вертикальных скоростей

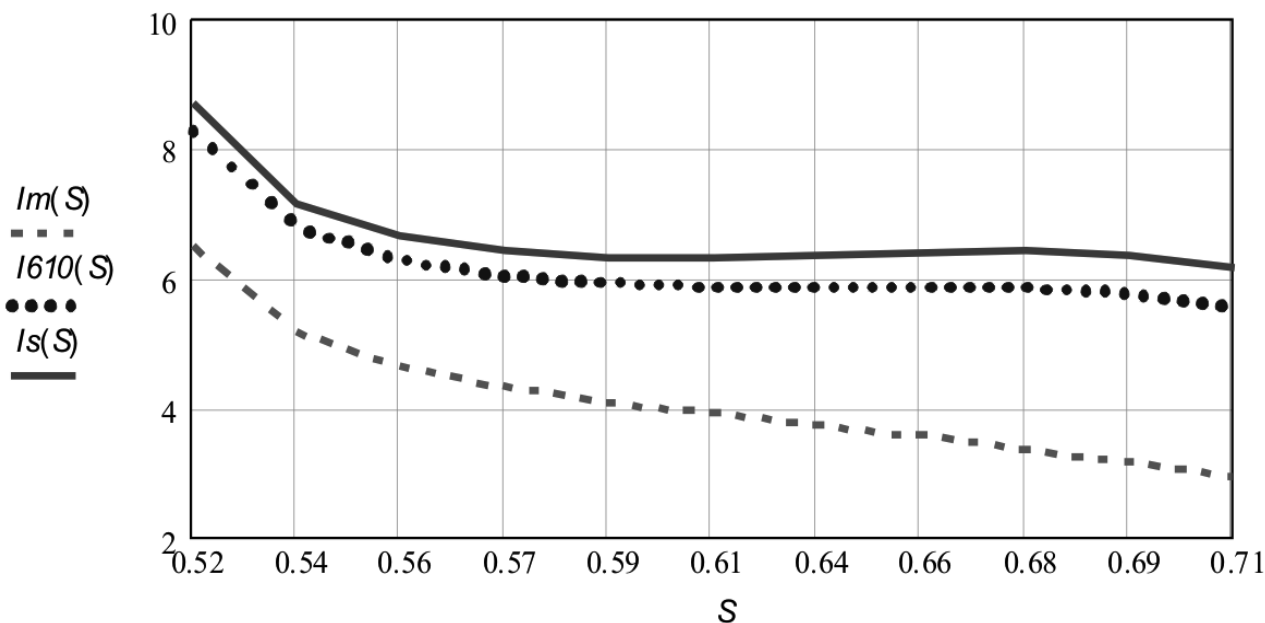


Рисунок 4. Зависимости передаточных чисел МН «Беларус 1221» на оси подвеса (пунктир) и на вылете 610 мм (точки) от обобщенной координаты

**Таблица 2. Силовые параметры  
ПНУ “БЕЛАРУС 1221”**

S	G <sub>S</sub> (S)	R <sub>34</sub> (S)	R <sub>03</sub> (S)	R <sub>05</sub> (S)	R <sub>07</sub> (S)	F <sub>ПП</sub> (S)	P <sub>2</sub> (S)
[М]	[КН]	[КН]	[КН]	[КН]	[КН]	[КН]	[МПА]
0,515	-*	-	-	-	-	-	-
0,535	23,03	20,55	116,11	15,82	18,43	107,52	10,132
0,555	24,82	21,11	110,12	14,96	18,69	99,71	9,368
0,575	25,67	21,83	108,23	14,25	19,02	96,43	9,057
0,595	26,01	22,73	108,31	13,64	19,39	95,15	8,939
0,615	26,04	23,73	109,52	13,11	19,74	95,04	8,929
0,635	25,90	24,84	111,30	12,66	20,03	95,53	8,975
0,655	25,73	26,06	113,32	12,36	20,19	96,17	9,035
0,675	25,67	27,29	115,11	12,28	20,12	96,39	9,056
0,695	25,93	28,36	115,63	12,44	19,69	95,42	8,965
0,715	26,83	28,99	113,80	12,76	18,75	92,23	8,665

характерных точек МН и НМ;

– массово-геометрическими параметрами МТА и его развесовкой.

Таким образом, навесоспособность колесного трактора “Беларус 1221” определяется грузоподъемностью ПНУ, а ограничивается параметром управляемости МТА.

На основе приведенных в статье аналитических выражений для выходных параметров ПНУ трактора “Беларус 1221” возможен анализ процесса подъема для

ПНУ других тракторов “Беларус”, агрегируемых с различными навесными с/х машинами и плугами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Амелъченко, П.А. Агрегатирование тракторов “Беларус”: учеб. пособ. / П.А. Амелъченко, Б.Я. Шнейсер, Н.Г. Шатуня. – Мн.: Ураджай, 1993. – С. 302.

2. Гуськов, В.В. Тракторы. Конструирование и расчет / В.В. Гуськов, И.П. Ксенович, Ю.Е. Атаманов, А.С. Солонский. – Мн.: Вышэйш. шк., 1981. – Ч.3. – С. 383.

3. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин. М: Машиностроение, 1988. – С. 687.

4. Попов, В.Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей / В.Б. Попов // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого. – №2, 2000. – С. 25-29.

5. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: учеб. для вузов. – Мн.: Дизайн-Про, 1997. – С. 640.

6. Попов, В.Б. Расчет выходных параметров подъемно-навесного устройства трактора «Беларус 1523» / В.Б. Попов, А.А. Воробьев // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – №2, 2007. – С. 3-10.

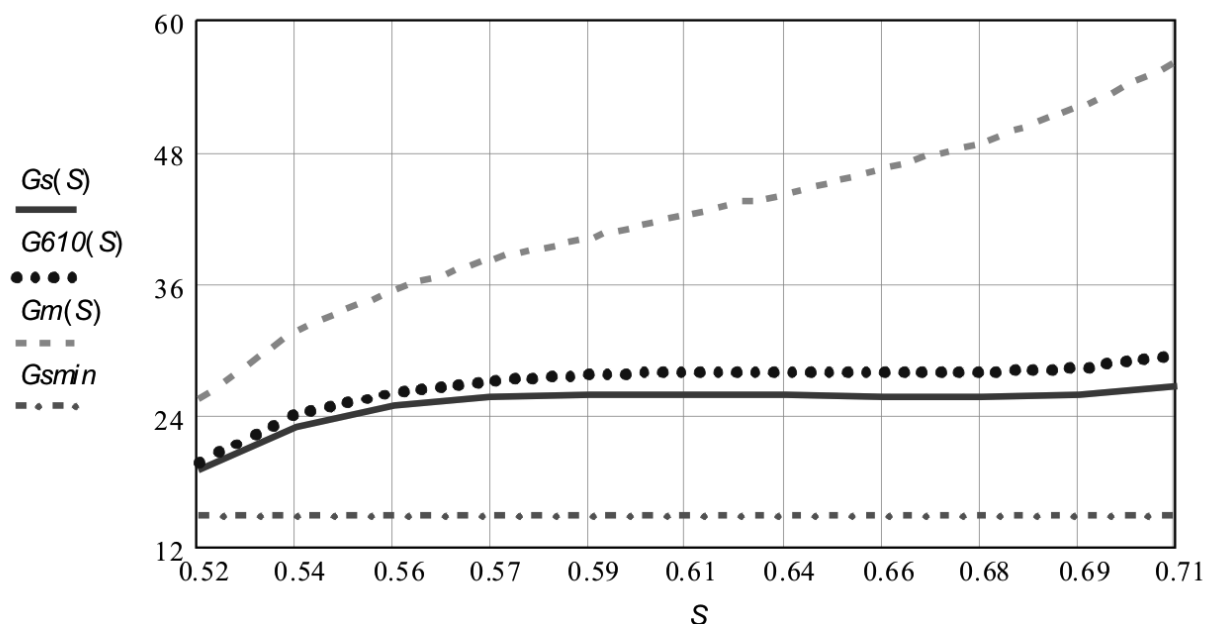


Рисунок 5. Характеристики грузоподъемности ПНУ “Беларус 1221” на оси подвеса (пунктир) и на вылете 610 мм (точки) от обобщенной координаты