

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2.052-2015 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Электронная модель изделия.
2. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения
3. Норенков И.П. Автоматизированное проектирование. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 188с.
4. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие. – Минск : БГАТУ, 2007. – 592 с.

Представлено 15.04.2021

УДК 631.352

### **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА ВЫГРУЗНОГО ШНЕКА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

THE FUNCTIONAL MATHEMATICAL MODEL OF THE  
SPATIAL MECHANISM OF TURNING OF THE UNLOADING  
AUGER  
OF THE COMBINE HARVESTER

**А. Д. Конявский, Д. В. Джасов, В. В. Карчевская,  
Ю. В. Чупрынин,**

Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,  
г. Гомель, Беларусь

A. Konyavskiy, D. Jasov, V. Karchevskaya, Yu. Chuprynin,  
Scientific and Technical Harvester Centre OJSC "Gomselmash",  
Gomel, Republic of Belarus

*В работе представлена математическая модель механизма поворота шнека для выгрузки зерна из бункера зерноуборочного комбайна с помощью векторного способа описания рычажных механизмов.*

*The paper presents a mathematical model of the mechanism of turning of the auger for grain unloading from the hopper of the combine harvester using a vector method of describing the lever mechanisms.*

*Ключевые слова:* шнек, карданная передача, зерно, механизм поворота, вектор.

*Key words:* auger, gimbal drive, grain, mechanism of turn, vector.

## ВВЕДЕНИЕ

От правильного выбора параметров механизма поворота выгрузного шнека зависит общее время выгрузки зерна из бункера зерноуборочного комбайна, минимизация потерь при выгрузке и долговечность элементов конструкции.

Выгрузной шнек зерноуборочного комбайна служит для транспортировки зерна из бункера комбайна в кузов транспортного средства. Он может находиться в двух положениях: в сложенном состоянии – в процессе комбайнирования и на транспортных переездах, в разложенном состоянии – в процессе перегрузки зерна из бункера в кузов. Для перевода шнека из одного положения в другое служит механизм его поворота.

Особенностью конструкции рассматриваемого механизма поворота шнека является тот факт, что привод поворотного шнека 4 осуществляется с помощью карданной передачи 2 (рисунок 1). Карданная передача расположена в пространстве между неподвижным шнеком 1 и поворотным шнеком 4.

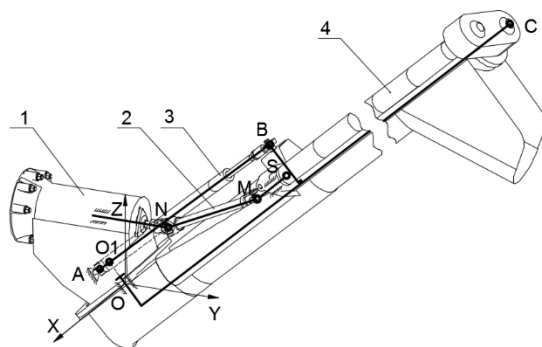


Рисунок 1 – Схема механизма поворота шнека с наложенными связями  
1 – шнек бункера; 2 – карданный вал, 3 – гидроцилиндр, 4 – поворотный шнек

Известно, что неправильная установка валов карданной передачи относительно друг друга в рабочем положении приводит к неравномерности вращения выходного вала. Указанная неравномерность вращения в конструкции выгрузного шнека отрицательно сказывается, как на долговечности работы шарниров карданного вала, так и на самом процессе выгрузки зерна из бункера, а именно, в процессе выгрузки может наблюдаться порционная подача зерна и снижение производительности. При этом в процессе поворота шнека из одного крайнего положения в другое эти углы изменяются в пространстве. Для нормальной работы карданной передачи с двумя шарнирами необходимо чтобы углы в шарнирах при передаче мощности были примерно одинаковы между собой и не превышали величины неравномерности  $\pm 7\%$ .

Механизм поворота выгрузного шнека зерноуборочного комбайна является пространственным механизмом. Следовательно, для оценки работоспособности и величины неравномерности вращения карданного вала и вала шнека использование математической модели механизма поворота шнека в упрощенной плоской постановке задачи недостаточно.

Для описания положения всех точек поворотного шнека в пространстве без использования сложной тригонометрической математики целесообразно воспользоваться векторным способом описания рычажных механизмов в пространственной постановке задачи [1, 2]. Основные положения векторного способа описания пространственных механизмов представлены в работе [2]. В основе этого способа лежит формула поворота одного пространственного вектора вокруг оси второго пространственного вектора на заданный угол, полученная из известной в математике формулы изменения системы координат [3]. Благодаря ей и векторной алгебре аналитическое описание пространственного механизма поворота выгрузного шнека существенно упрощается и представляется в виде выражений (1–12). Стоит отметить, что в выражениях (2–4), (6–8), (10) абсолютные и относительные вектора с нижним индексом «0» – это начальное положение данных векторов или, говоря простым языком, их начальные координаты, описанные векторным способом.

За обобщенную координату примем угол  $\alpha$  поворота шнека вокруг оси его поворота  $OO1$  (см. рисунок 1) с шагом  $\Delta\alpha$  на заданный угол  $\alpha_{\max}$ , тогда:

$$\alpha = 0, \Delta\alpha \dots \alpha_{\max} . \quad (1)$$

Положение всех точек механизма определяются:

$$B_0 = O + OB_0 ; \quad (2)$$

$$O1B_0 = B_0 - O1 ; \quad (3)$$

$$O1B(\alpha) = TurnV^{3D}(O1B_0, OO1, \alpha) , \quad (4)$$

где  $TurnV^{3D}(O1B_0, OO1, \alpha)$  – можно читать как: вектор  $O1B$  находится путем поворота начального вектора  $O1B_0$  вокруг вектора  $OO1$  на угол  $\alpha$ .

Аналогичным образом определяем положение остальных точек

$$OB(\alpha) = OO1 + O1B(\alpha) ; B(\alpha) = O + OB(\alpha) ; \quad (5)$$

$$OG(\alpha) = TurnV^{3D}(OG_0, OO1, \alpha) ; G(\alpha) = O + OG(\alpha) ; \quad (6)$$

$$OC(\alpha) = TurnV^{3D}(OC_0, OO1, \alpha) ; C(\alpha) = O + OC(\alpha) ; \quad (7)$$

$$OM(\alpha) = TurnV^{3D}(OM_0, OO1, \alpha) ; M(\alpha) = O + OM(\alpha) ; \quad (8)$$

$$MN(\alpha) = N - M(\alpha) ; NM(\alpha) = -MN(\alpha) \quad (9)$$

$$OS(\alpha) = TurnV(OS_0, OO1, \alpha) ; S(\alpha) = O + OS(\alpha) ; \quad (10)$$

$$MS(\alpha) = S(\alpha) - M(\alpha) ; \quad (11)$$

$$AB(\alpha) = B(\alpha) - A . \quad (12)$$

Из выражения (12), взяв модуль  $AB(\alpha)$ , находим длину гидроцилиндра во всем диапазоне поворота. По этой величине производится подбор гидроцилиндра по его короткой длине и ходу, обеспечивающих поворот шнека на заданный угол.

Углы в шарнирах карданной передачи определяются как углы между двумя пространственными векторами, изменяющимися в зависимости от положения шнека. Поэтому углы между векторами  $MN(\alpha)$  и  $MS(\alpha)$  в точке М, а также между  $NM(\alpha)$  и осью горизон-

тального шнека бункера, совпадающего с осью Y, в точке N определяются выражениями (13) и (14):

$$\beta_M(\alpha) = ar \cos \left( \frac{MN(\alpha) \cdot MS(\alpha)}{|MN(\alpha)| \cdot |MS(\alpha)|} \right); \quad (13)$$

$$\beta_N(\alpha) = ar \cos \left( \frac{NM(\alpha) \cdot Y}{|NM(\alpha)| \cdot |Y|} \right). \quad (14)$$

Зная положение всех точек механизма поворота шнека, а также его массу и центр тяжести, определим давление  $p_{gc}(\alpha)$  потребное для поворота шнека в любой момент поворота из выражения (15).

$$p_{gc}(\alpha) = \frac{Mtr(\alpha) \pm G_g \cdot v_G(\alpha)}{v_{gc}(\alpha) \cdot S_{gc} \cdot kpd}, \quad (15)$$

где  $Mtr(\alpha)$  – момент трения в поворотном фланце присоединения шнека;  $G_g$  – вес шнека;  $v_G(\alpha)$  – аналог скорости подъема/опускания центра тяжести шнека;  $v_{gc}(\alpha)$  – аналог скорости изменения длины гидроцилиндра;  $S_{gc}$  – рабочая площадь гидроцилиндра при повороте;  $kpd$  – КПД гидросистемы. Знак  $\pm$  указывает на процесс подъема либо опускания соответственно.

Представленная выше функциональная математическая модель пространственного механизма поворота шнека позволила получить положение всех характерных точек механизма, в том числе присоединенных точек карданной передачи, характеристику изменения углов в шарнирах карданной передачи при повороте шнека и характеристику изменения потребного давления при раскладывании/складывании шнека.

В качестве целевых показателей механизма на рисунке 2 представлена характеристика изменения углов между валами карданной передачи в шарнирах M и N, а также характеристика изменения потребного давления при раскладывании/складывании шнека во всем диапазоне поворота.

С помощью представленной математической модели было подобрано расположение шарниров карданной передачи таким образом, чтобы в положении выгрузки углы в шарнирах карданной передачи были примерно одинаковыми. В итоге, при диапазоне угла поворота шнека  $75\text{--}95^\circ$  в положении выгрузки в транспортное средство были подобраны следующие углы между валами карданной передачи: в шарнире М –  $21.1\text{--}26.8^\circ$ , в шарнире N –  $23.1\text{--}30.1^\circ$  (рисунок 2а). Такая установка валов карданной передачи позволяет добиться неравномерности вращения шнека не превышающей заданной величины 7 %.

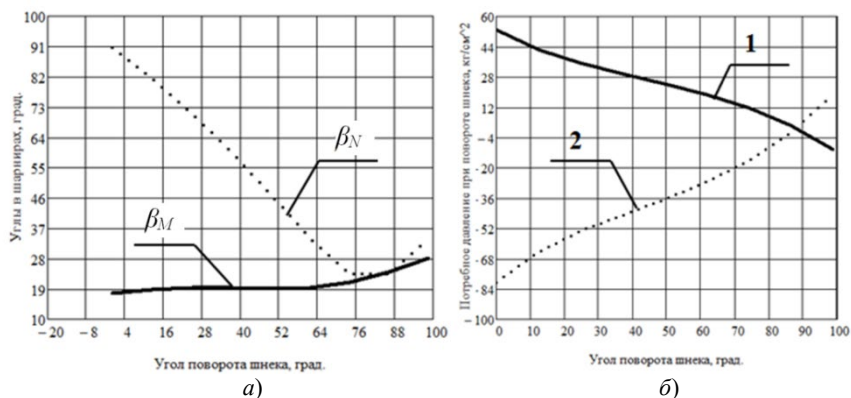


Рисунок 2 – Результаты расчета  
 а) изменение угла в шарнирах М и N;  
 б) потребное давление в гидроцилиндре для поворота шнека:  
 1 – раскладывание, 2 – складывание

Для оптимизированных параметров механизма потребное давление в рабочей полости гидроцилиндра для преодоления сил трения в стыке и силы тяжести шнека при раскладывании в рабочее положение не превышает  $53 \text{ кг/см}^2$ , а при складывании – не превышает  $19 \text{ кг/см}^2$ . При этом знак «—» в результатах расчета (рисунок 2б) говорит о том, что шнек опускается в транспортное положение под действием силы тяжести. Стоит отметить, что полученные величины силовой характеристики, с помощью вышеприведенной математической модели, позволяют провести дальнейший этап оптимиза-

ции конструкции поворотного шнека по прочностным характеристикам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформированная математическая модель пространственного механизма поворота выгрузного шнека зерноуборочного комбайна, позволила в кратчайшие сроки оптимизировать параметры механизма для обеспечения его работоспособности на различных режимах работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Котов, А. В./ Векторный анализ пространственных рычажных механизмов / А. В. Котов, Ю. В. Чупрынин // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 12.
2. Джасов, Д. В. Применение векторного анализа для математического описания пространственных рычажных механизмов на примере моста управляемых колес сельскохозяйственной машины / Д. В. Джасов, А. Я. Машук, Ю. В. Чупрынин // Сборник научных трудов «Актуальные вопросы машиноведения», выпуск 2, Минск, 2013. – С. 102 – 106.
3. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.

Представлено 18.05.2021