

ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, УРОВЕНЬ КАЧЕСТВА, РЕСУРС ГИДРОСТОЕК МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭТИХ ПАРАМЕТРОВ

Ю.Ф. Набатников¹, Нго Ван Туан¹

¹ МГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: kaftmr@mail.ru

Аннотация: В состав современной механизированной крепи входит несколько сотен одно-типных гидростоек. Для обеспечения надежности и эффективности эксплуатации такой технической системы необходимо обеспечить стабильный по величине ресурс работы каждой гидростойки, который зависит от точности изготовления сопрягаемых поверхностей и точности сборки функциональных соединений. С целью решения этой проблемы впервые установлены количественные зависимости ресурса соединений деталей машин от их уровня качества и точности сборки. Полученные зависимости позволяют по заданному ресурсу определить качество точности сборки функциональных соединений, при которой этот ресурс обеспечивается для всех гидростоек, входящих в механизированную крепь. Рассмотрена проблема обеспечения требуемой точности соединений деталей машин. При отсутствии на предприятиях горного машиностроения высокоточного оборудования и соответствующих технологий изготовления деталей машин требуемую точность их соединений предложено обеспечивать селективной сборкой методом межгрупповой взаимозаменяемости. В отличие от известных, данная технология сборки позволяет обеспечить заданные точность и ресурс соединений без образования и накопления незавершенного производства. Сборка соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости в мелкосерийном производстве является уникальной и позволяет в значительной мере решить задачу импортозамещения высокоточного дорогостоящего оборудования и технологий изготовления деталей соединений.

Ключевые слова: детали машин, соединения, точность, износ соединений, уровень качества соединений, мелкосерийное производство, селективная сборка, межгрупповая взаимозаменяемость.

Для цитирования: Набатников Ю. Ф., Нго Ван Туан Точность изготовления, уровень качества, ресурс гидростоек механизированных крепей и технология обеспечения этих параметров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 3. – С. 192–198. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-192-198.

Hydraulic legs of powered roof support: accuracy of manufacturing, level of quality, lifetime and their control technology

Yu.F. Nabatnikov¹, Ngo Van Tuan¹

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
e-mail: kaftmr@mail.ru

Abstract: A modern powered roof support involves several hundreds of single-type hydraulic legs. Reliable and efficient operation of such manufacturing system requires sustained lifetime of each leg, which is governed by accuracy of interfaces and joint assemblies. To this effect, the quantitative relations are for the first time set for lifetime, quality and assembling accuracy of machine parts. By pre-set lifetime, these relations make it possible to determine quality grade of assembling accuracy sufficient to ensure the pre-set lifetime of all hydraulic legs in the structure of powered roof support. The problem of required assembling accuracy of machine part is considered. In case that a mining machine building plant lacks high-precision equipment and technologies for manufacturing machine components, it is suggested to ensure the required assembling accuracy by selective assembly by the method of intergroup substitutability. As against other approaches, this method of assembly provides pre-set accuracy and lifetime of joints without formation and accumulation of unfinished production. Joint assembly by the intergroup substitutability method is unique in the small-batch manufacturing and largely assists in handling the problems connected with import substitution of expensive high-precision equipment and technologies for manufacturing of joint assemblies.

Key words: machine parts, joint assemblies, accuracy, wear of joint assemblies, quality grade of joint assemblies, small-batch manufacturing, selective assembly, intergroup substitutability.

For citation: Nabatnikov Yu. F., Ngo Van Tuan Hydraulic legs of powered roof support: accuracy of manufacturing, level of quality, lifetime and their control technology. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;3:192-198. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-192-198.

В состав механизированных комплексов по добыче угля входит несколько сотен однотипных гидравлических стоек (стоек), которые обеспечивают сопротивление опусканию кровли в забое [1].

От качества изготовления стоек зависит, прежде всего, ресурс их работы, а также надежность и эффективность эксплуатации механизированного комплекса в целом. Для такого количества стоек принципиально важно обеспечить при изготовлении заданный ресурс их работы [2]. Функциональным соединением стойки является соединение внутреннего диаметра цилиндра с наружным диаметром поршня. Ресурс этого соединения определяет ресурс работы стойки. Данное соединение выполняется с зазором и в настоящее время из-за сложности изготовления сопрягаемых деталей, точность в этом соединении не превышает девятого качества.

Согласно технической документации на изготовление, наиболее распространенной посадкой в этом соединении является посадка вида H9/F9.

Проведем количественную оценку параметров, перечисленных в названии статьи, и установим их взаимосвязь, например, для номинальных диаметров соединений 180–250 мм.

Для посадки H9/F9 при данном диапазоне номинальных размеров минимальный зазор в соединении равен $S_{\min} = 50$ мкм, а максимальный $S_{\max} = 280$ мкм.

Таким образом, максимально допустимый по технической документации на изготовление стойки зазор может почти в шесть раз превышать минимально допустимый. Соединения «цилиндр-поршень» собираются методом полной взаимозаменяемости, и зазоры в различных стойках, которые являются случайными величинами, будут лежать в пределах $S = 50\text{--}280$ мкм.

Очевидно, что ресурсы работы различных стоек будут количественно отличаться.

Для оценки влияния точности соединений на ресурс их работы в работе [4] получена зависимость:

$$\begin{aligned} \frac{T}{T_{\max}} &= 1 - \frac{1,05/ITS\sqrt{1-K}}{S_{\text{np}} - S_{\text{min}}} = \\ &= 1 - \frac{1,05/ITS\sqrt{1-K}}{ITS_p} = , \quad (1) \\ &= 1 - \frac{1,05\sqrt{1-K}}{K_p} \end{aligned}$$

где T — ресурс соединения при зазоре S ; T_{\max} — максимальный ресурс соединения при зазоре S_{min} ; $K_p = ITS_p/ITS > 1$ — коэффициент запаса ресурса соединения по точности; $ITS = S_{\text{max}} - S_{\text{min}}$ — допуск на зазор при сборке соединения; $ITS_p = S_{\text{np}} - S_{\text{min}}$ — эксплуатационный допуск на зазор в соединении; S_{np} — предельный зазор, при котором резко увеличивается интенсивность изнашивания соединения или оно теряет свою работоспособность; K — уровень качества соединения.

Уровень качества соединения определяется по формуле [3]:

$$K = 1 - \left(\frac{S - S_{\text{min}}}{ITS + \Delta} \right)^2 = 1 - \frac{(S - S_{\text{min}})^2}{(1,05/ITS)^2}, \quad (2)$$

где S — зазор в соединении, полученный при сборке. Величина погрешности измерения (Δ) определяется в соответствии с рекомендациями ISO-5725 и принимается равной $\Delta = 0,05 ITS$.

Из формулы для определения уровня качества соединения следует, что чем ближе величина зазора в соединении к минимально допустимому зазору, тем выше его уровень качества. При $S = S_{\text{min}}$ уровень качества соединения $K = 1$, а при $S = S_{\text{max}}$ — $K = 0,1$. Таким образом, при сборке соединений методом полной взаимозаменяемости уровень их качества будет лежать в интервале значений $K = 0,1 - 1,0$.

Приняв коэффициент запаса ресурса соединения по точности, например, равным двум ($K_p = 2$) и подставляя значения максимального и минимального уровня качества в формулу (1) получим:

$T/T_{\max} = 1$ при $K = 1$ и $T/T_{\max} = 0,5$ при $K = 0,1$. Проведенный расчет показывает, что ресурсы работы соединений различных стоек отличаются в два раза. При меньших значениях коэффициента K_p различия в величине ресурса будут еще больше, например, при $K_p = 1,5$ и $K = 0,1$ — $T/T_{\max} = 0,34$. Такая разница в величине ресурса различных стоек не позволяет обеспечить надежную и эффективную эксплуатацию механизированного комплекса в целом.

В этих условиях становится актуальной задача обеспечения заданного ресурса стоек для всей партии изделий. Рассмотрим решение данной задачи на примере. Примем, что изготавливается 200 стоек. Необходимо обеспечить ресурс всех стоек, например, не ниже 80% от максимально возможной величины, которая достигается при зазоре, равном минимально допустимому значению (при $S = S_{\text{min}}$). Подставляя в левую часть уравнения (1) заданный ресурс, и, решая данное уравнение относительно K , получим $K = 0,855$. Из уравнения (2), зная K , найдем величину максимального зазора, при котором обеспечивается заданный ресурс соединения. Величина этого зазора равна $S_{\text{max}} = 142$ мкм. Таким образом, при зазорах в соединениях $S = 50-142$ мкм будет обеспечена точность соединений по седьмому качеству и все 200 стоек будут иметь ресурс не ниже 80% от максимально возможной величины. При зазорах в соединениях $S > 142$ мкм условие по заданному ресурсу выполняться не будет.

После распада СССР и при известных переменах в промышленности России большинство предприятий угольного машиностроения прекратили выпуск профильной продукции. Вместе с этим в значительной степени были утрачены: технологическое оборудование, технологии изготовления горных машин и квалифицированные рабочие кадры. Ранее

отмечалось, что в соединениях «цилиндр — поршень» точность не превышала девятого качества при массовом производстве стоек, а обеспечение точности в этих соединениях по седьмому качеству на отечественных заводах является весьма большой проблемой. Для этого необходимо высокоточное технологическое оборудование, соответствующие технологии изготовления деталей соединений, квалифицированные рабочие кадры и значительные финансовые затраты.

При отсутствии на предприятиях этих ресурсов заданную точность соединений и их ресурс можно обеспечить селективной сборкой [10]. Однако, в машиностроении считается, что селективная сборка эффективна в крупносерийном и массовом производствах. Отметим, что селективная сборка существенно зависит от законов распределения размеров отверстий и валов и их асимметрии. При разных распределениях отклонений размеров отверстий и валов и их разнонаправленной асимметрии в процессе сборки появляются некомплектные детали. В результате формируется незавершенное производство и возникает ряд организационных вопросов, связанных с его учетом и использованием [3, 7, 8].

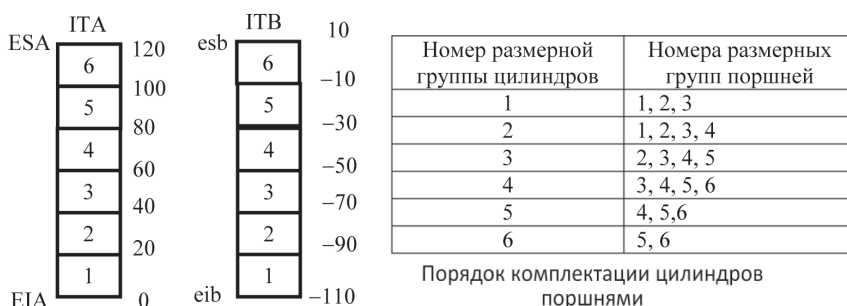
В условиях мелкосерийного производства, которое свойственно заводам горного машиностроения, законы распределения отклонений размеров валов и отверстий несимметричны. При изготовлении валов отклонения размеров группируются ближе к большим значениям, а при изготовлении отверстий — ближе к меньшим. Это связано с возможностью устранения исправимого брака [11].

Необходимо отметить, что такая асимметрия в законах распределения отклонений размеров отверстий и валов приводит к формированию в соединениях меньших по величине зазоров, повышает их уровень качества и ресурс работы. Однако для организации селективной

сборки в условиях мелкосерийного производства необходимо уменьшить или полностью исключить влияние законов распределения отклонений размеров отверстий и валов на появление некомплектных деталей. Такая задача была решена в Московском государственном горном университете путем разработки метода межгрупповой взаимозаменяемости [5].

Отличие данного метода сборки от известного метода групповой взаимозаменяемости состоит в том, что каждая размерная группа цилиндров (отверстий) комплектуется поршнями (валами) не из одной размерной группы, а из нескольких групп. Это приводит к тому, что вероятность появления некомплектных деталей равна или близка к нулю. Поэтому селективная сборка становится независимой от законов распределения отклонений размеров, т.е. от случайных процессов изготовления деталей [12]. Математическим моделированием метода межгрупповой взаимозаменяемости на ЭВМ установлены параметры селективной сборки для мелкосерийного производства, которые обеспечивают повышение точности соединений на один и два качества при отсутствии незавершенного производства [6].

Для ранее приведенного примера решим задачу обеспечения точности в соединениях «цилиндр-поршень» по посадке H7/f7 при точности изготовления цилиндров и поршней по девятому качеству. Сборка соединений проводится по методу межгрупповой взаимозаменяемости. Примем, что закон распределения отклонений размеров цилиндров близок к нормальному закону, поршней — к равномерному, а распределения отклонений размеров деталей соединений асимметричны. Для цилиндров центр группирования смещен в сторону меньших отклонений, а для поршней — в сторону больших.



Размерные группы деталей соединений и порядок комплектации цилиндров поршнями. ITA — допуск на размер цилиндра, ITB — допуск на размер поршня

Size groups of joint assemblies and sequence of completing cylinders with pistons: ITA—dimension tolerance for cylinder; ITB—dimension tolerance for piston

Исходные данные для реализации метода межгрупповой взаимозаменяемости представлены в табл. 1, а размерные группы деталей соединений и порядок комплектации цилиндров поршнями — на рисунке. При сборке цилиндров с поршнями в соответствии с рисунком в соединениях обеспечиваются зазоры по 7 качеству точности.

В табл. 2 представлены исходные произвольно взятые распределения цилиндров, поршней и распределения поршней после комплектации каждой размерной группы цилиндров. Из табл. 2 следует, что некомплектные детали при сборке соединений отсутствуют. При других распределениях деталей соединений результаты будут аналогичны. Таким образом, точность соединений повышается на два

квалитета и обеспечивается их заданный ресурс для всех 200 стоек (80% от максимально возможного ресурса).

Предложенная технология сборки соединений стоек позволяет обеспечить их высокую точность, уровень качества и заданный ресурс работы стоек без приобретения зарубежного дорогостоящего высокоточного оборудования и импортных технологий изготовления деталей соединений.

Выводы

1. Установлена количественная связь между заданным ресурсом, уровнем качества и точностью сборки соединений гидростоек.
2. Селективная сборка в мелкосерийном производстве методом межгруппо-

Таблица 1

Исходные параметры сборки Assembly parameters

Параметр	Значение
Допуск по 9 качеству точности при изготовлении цилиндра и поршня, $ITA = ITB$, мкм	115
Максимальный зазор по 7 качеству точности, S_{max} , мкм	150
Минимальный зазор по 7 качеству точности, S_{min} , мкм	50
Групповые допуски, $a = b = ITS/5 = 100/5$, мкм	20
Количество селективных групп, $n_1 = n_2 = 115/20$	6
Нижнее предельное отклонение размеров поршня, eib , мкм	-110
Закон распределения размеров цилиндра	близок к нормальному
Закон распределения размеров поршня	близок к равномерному
Объем производства, шт.	200

Таблица 2

Распределение поршней по размерным группам после комплектации размерных групп цилиндров
Size grouping of piston after completing size groups of cylinders

№ групп цилиндров	Исходное распределение		Распределение поршней после комплектации цилиндров					
	цилиндры	поршни	1-ой группы	2-ой группы	3-ой группы	4-ой группы	5-ой группы	6-ой группы
1	30	20	—	—	—	—	—	—
2	50	20	10	—	—	—	—	—
3	40	30	30	—	—	—	—	—
4	30	40	40	30	—	—	—	—
5	30	40	40	40	30	—	—	—
6	20	50	50	50	50	50	20	—
Всего	200	200	170	120	80	50	20	0

вой взаимозаменяемости обеспечивает значительное увеличение точности соединений без образования незавершенного производства.

3. Метод межгрупповой взаимозаменяемости позволяет не только существенно увеличить точность соединений, но и обеспечить заданный ресурс работы гидростоек для всей партии изделий.

4. Технология селективной сборки в мелкосерийном производстве на предприятиях горного машиностроения позволяет избежать закупки импортного высокоточного оборудования и зарубежных технологий изготовления деталей соединений. Эта технология может быть распространена на крупносерийное и массовое производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 55729-2013. Оборудование горношахтное. Гидростойки для механизированных крепей. Общие технические условия. — М.: Изд-во Стандартиформ, 2014. — 16 с.
2. Кантович Л. И., Мерзляков В. Г. Горные машины и оборудование для подземных горных работ. — М.: Изд-во ИД 000 «Роликс», 2018. — 408 с.
3. Радкевич Я. М., Схиртладзе А. Г. Метрология, стандартизация и сертификация. — М.: Изд-во «Юрайт», 2014. — 813 с.
4. Набатников Ю. Ф. Селективная сборка деталей машин в горном машиностроении // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 8. — С. 159–164.
5. Вержанский А. П., Набатников Ю. Ф., Островский М. С. Точность соединений деталей горных машин и метод ее обеспечения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 1. — С. 461–485.
6. Набатников Ю. Ф. Моделирование сборки соединений деталей машин на ЭВМ // Автоматизация и современные технологии. — 2013. — № 2. — С. 6–15.
7. Маталин А. А. Технология машиностроения. 4-е издание. — Изд-во «Лань», 2016. — 512 с.
8. Суслов А. Г. Основы технологии машиностроения. — Изд-во «КноРус», 2018. — 288 с.
9. Elser H., Heutmann T., Lindemann M., Schmitt R. Hellsehen in vier Schritten. Data Analytics für das digitale Qualitätsmanagement // Qualität und Zuverlässigkeit. 2018. Vol. 63, No. 2. Pp. 31–33.
10. Schmitt R., Göppert A., Hüttemann G., Lettmann P., Rook-Weiler K., Schönstein D., Schreiber A., Serbest E., Steffens M., Tomys-Brummerloh A. Frei verkettete wandlungsfähige Montage. Internet of production für agile Unternehmen / AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 18. bis 19. Mai 2017, Hrsg.: Schuh, G.; Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R., Apprimus Verlag Aachen 2017, pp. 339–368.

11. Wiederhold M. Clustering of Similar Features for the Application of Statistical Process Control in Small Batch and Job Production / *Ergebnisse aus der Produktionstechnik 20/2017*, Hrsg.: Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G., Apprimus Verlag Aachen 2017.
12. Wenking M., Benninghaus C., Groggert S. Die Zukunft von Manufacturing Data Analytics. Implikationen für eine erfolgreiche Datennutzung im produzierenden Umfeld. *Industrie 4.0 Management / Gegenwart und Zukunft industrieller Geschäftsprozesse 33 (2017)*, 4, pp. 33–37. **PLAS**

REFERENCES

1. *Oborudovanie gornoshakhtnoe. Gidrostoyki dlya mekhanizirovannykh krepey. Obshchie tekhnicheskie usloviya. GOST R 55729-2013* [Mining equipment. Water-resistant for mechanized fasteners. General specifications. State Standart R 55729-2013], Moscow, Izd-vo Standartinform, 2014, 16 p.
2. Kantovich L. I., Merzlyakov V. G. *Gornye mashiny i oborudovanie dlya podzemnykh gornykh rabot* [Mining machines and equipment for underground mining], Moscow, Izd-vo ID 000 «Roliks», 2018, 408 p.
3. Radkevich Ya. M., Skhirtladze A. G. *Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya* [Metrology, standardization and certification], Moscow, Izd-vo «Yurayt», 2014, 813 p.
4. Nabatnikov Yu. F. Assembly of machine parts in mining machinery manufacturing. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 8, pp. 159–164. [In Russ].
5. Verzhanskiy A. P., Nabatnikov Yu. F., Ostrovskiy M. S. Accuracy of joints of parts of mining machines and method of its maintenance. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 1, pp. 461–485. [In Russ].
6. Nabatnikov Yu. F. Modeling of assembly of connections of machine parts on a computer. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii*. 2013, no 2, pp. 6–15. [In Russ].
7. Matalin A. A. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Technology of mechanical engineering], 4th edition. Izd-vo «Lan'», 2016, 512 p.
8. Suslov A. G. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Bases of technology of mechanical engineering], Izd-vo «KnoRus», 2018, 288 p.
9. Elser H., Heutmann T., Lindemann M., Schmitt R. Hellsen in vier Schritten. *Data Analytics für das digitale Qualitätsmanagement. Qualität und Zuverlässigkeit*. 2018. Vol. 63, No. 2. Pp. 31–33.
10. Schmitt R., Göppert A., Hüttemann G., Lettmann P., Rook-Weiler K., Schönstein D., Schreiber A., Serbest E., Steffens M., Tomys-Brummerloh A. Frei verkettete wandlungsfähige Montage. *Internet of production für agile Unternehmen: AWK Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 18. bis 19. Mai 2017*, Hrsg.: Schuh, G.; Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R., Apprimus Verlag Aachen 2017, pp. 339–368.
11. Wiederhold M. Clustering of Similar Features for the Application of Statistical Process Control in Small Batch and Job Production. *Ergebnisse aus der Produktionstechnik 20/2017*, Hrsg.: Brecher, C.; Klocke, F.; Schmitt, R.; Schuh, G., Apprimus Verlag Aachen 2017.
12. Wenking M., Benninghaus C., Groggert S. Die Zukunft von Manufacturing Data Analytics. Implikationen für eine erfolgreiche Datennutzung im produzierenden Umfeld. *Industrie 4.0 Management: Gegenwart und Zukunft industrieller Geschäftsprozesse 33 (2017)*, 4, pp. 33–37.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Набатников Юрий Федорович¹ — доктор технических наук, профессор,

Нго Ван Туан¹ — аспирант,

¹ МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: kaftmr@mail.ru.

Для контактов: Набатников Ю.Ф., e-mail: kaftmr@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yu. F. Nabatnikov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,

Ngo Van Tuan¹, Graduate Student,

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: kaftmr@mail.ru.

Corresponding author: Yu. F. Nabatnikov, e-mail: kaftmr@mail.ru.