

УДК 62-531.4

DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-3-9

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
ГИДРОПРЕССОВОЙ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБОТА**

**А. И. Абрамов**, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия  
**Ю. Р. Никитин**, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия  
**А. В. Романов**, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия  
**О. Е. Зорина**, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия  
**Башар Салама**, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Рассмотрены основные аспекты автоматизации сборки гидропрессовых соединений с применением промышленного робота: повышение производительности сборки, ее стабильность, а также обеспечение качества гидропрессовых соединений. Идентифицирован объект исследования – технологический процесс сборки соединений с натягом, в качестве технологической схемы принята схема с подводом масла торца. Установлены основные погрешности начального базирования и окончательного позиционирования сопрягаемых деталей, оказывающие влияние на эффективность и качество гидропрессовых соединений. Компенсация данных погрешностей позволит обеспечить равномерность зазора при запрессовке.*

*Разработана математическая модель движения рабочего органа робота, включающая уравнение, учитывающее положение сопрягаемых деталей с учетом суммарной погрешности позиционирования и изготовления собираемых деталей, необходимое для определения величины управляющих сигналов коррекции, и уравнение динамики процесса сборки, описывающее движение вала и связанное с обеспечением требуемого давления масла.*

*Предложены структура и управляющий алгоритм роботизированного комплекса гидропрессовой сборки, обеспечивающие компенсацию погрешностей установки и позиционирования. Алгоритм построен на комплексе обратных связей на основе датчиков давления, силы, наклона и положения, что обеспечивает качественный переход от граничного к жидкостному трению. Даны рекомендации по выбору регуляторов для системы управления роботом; наиболее предпочтительными являются интеллектуальный либо адаптивный регулятор.*

**Ключевые слова:** роботизация, гидропрессовая сборка, соединение с натягом, погрешность, модель, регуляторы.

**Введение**

**О**дной из прогрессивных технологий получения соединений с натягом является гидропрессовый метод сборки [1], в основе которого лежит создание между контактирующими поверхностями собираемых деталей масляной прослойки под высоким давлением, вследствие чего взаимное перемещение сопрягаемых поверхностей вала и втулки (под действием осевого усилия пресса) происходит в условиях жидкостного и граничного трения.

Повышение производительности сборки, ее стабильность, а также обеспечение качества гидропрессовых соединений возможны на основе автоматизации сборочного процесса, позво-

ляющей в полной мере реализовать достоинства данного метода сборки [2].

Вопросы автоматизации сборки гидропрессовых соединений рассматриваются в работах как отечественных, так и зарубежных ученых [3–16]. Однако в данных работах решены задачи автоматизации собственно процесса запрессовки, вследствие чего роботизация сборки, обеспечивающая возможность автоматической переналадки как технологической сборочной оснастки, так и непосредственно подачу сопрягаемых деталей в зону сборки, представляет определенный научный интерес. Это соответствует актуальной проблеме использования в современных рыночных условиях гибких производственных систем. Ниже рассмотрены вопро-

сы идентификации объектов управления, алгоритмы и программно-аппаратное обеспечение технологического процесса.

Повышение производительности сборки гидропрессовых соединений проводится на основе оптимизации технологических схем и предлагаемых конструкторско-технологических решений, связанных с обеспечением гарантированного режима жидкостного трения и сохранности сопрягаемых поверхностей. Отмечается, что на эффективность сборки и качество гидропрессовых соединений существенно влияют подготовительные операции, связанные с центрированием и предварительным поджатием запрессовываемого вала.

Цель исследования – выявить условия, требования и предложить принципиальные решения для реализации роботизированной гидропрессовой сборки соединений с натягом.

#### Идентификация объекта исследования

Повышенное внимание к технологии гидропрессовой сборки обусловлено такими ее преимуществами, как [17, 18]:

- 1) возможность сборки высокопрочных соединений с большими натягами;
- 2) значительное (в 10-15 раз) снижение сил запрессовки по сравнению с механическим способом сборки; уменьшение мощности прессового оборудования;
- 3) меньшая энергоемкость по сравнению с термическими способами сборки;
- 4) отсутствие повреждений сопрягаемых поверхностей.

С точки зрения автоматизации процесса гидропрессовой сборки проблемным является большая сложность из-за потребности в насосах высокого давления с гидравлической арматурой и регуляторах давления и расхода масла с рабочим давлением свыше 200 МПа.

Для увеличения технологических возможностей гидропрессового метода разработаны и применяются механизированные насосы высокого давления (с пневматическим или электромеханическим приводами). Однако избежать дискретной подачи смазки не удастся, вследствие чего снижается стабильность процесса.

Для обеспечения режима жидкостного трения необходимо, как показывает опыт других исследователей, выполнение следующих требований:

- 1) заходные фаски сопрягаемых деталей должны составлять  $15^\circ$  для охватываемой детали и  $30^\circ$  – для охватывающей деталей;

- 2) усилие первоначального поджатия сопрягаемых деталей должно быть таким, чтобы обеспечить герметичность рабочей полости по всей цилиндрической поверхности сопряжения. При этом контактное давление на пояске сопряжения от усилия поджатия должно быть равномерным;

- 3) перекос деталей относительно друг друга должен быть устранен на длине запрессовки не более чем 0,1 всей длины запрессовки.

С точки зрения автоматизации гидропрессовой сборки более перспективными являются технологические схемы подвода масла с торца соединения через заходные фаски вала и втулки, а также дифференциальный способ, исключающий применение насосов высокого давления и тем самым сокращающий число объектов управления.

В качестве объекта роботизации принята технологическая схема с подводом масла с торца вала (рис. 1). Собираемые детали – вал 1 и втулка 2 – изображены в положении после поджатия вала с силой  $F_0$ . Выбор данной схемы обусловлен тем, что гарантированно обеспечивается режим жидкостного трения, но в то же время требуется отвод из рабочей зоны значительного объема масла.

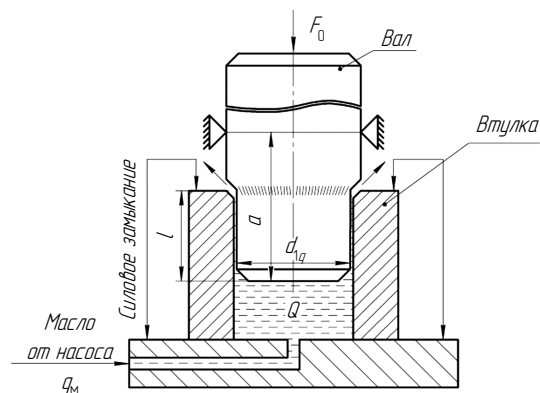


Рис. 1. Технологическая схема с подводом масла с торца вала:  $a$  – расстояние от торца вала до линии контакта со схватом робота;  $d_{1q}$  – диаметр деформированного вала;  $F_0$  – осевая сила;  $l$  – длина запрессовки;  $q_M$  – давление масла;  $Q$  – объем масла в рабочей полости

Fig. 1. Technological scheme with oil supply from the shaft end:  $a$  - distance from the shaft end to the contact line with the robot gripper;  $d_{1q}$  - diameter of the deformed shaft;  $F_0$  - axial force;  $l$  - pressing length;  $q_M$  - oil pressure;  $Q$  - oil volume in the working cavity

На рис. 2 показано взаимное расположение деталей с перекосом (рассмотрена одна плоскость). Из рисунка видно, что для компенсации перекоса в системе управления робота должны

быть введены измеренные параметры угла перекоса и обеспечено относительное положение вала 1 и втулки 2 по координате Z.

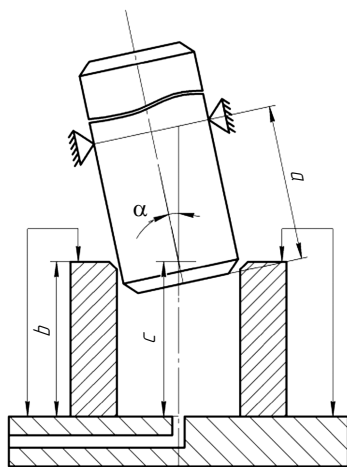


Рис. 2. Схема расположения деталей с перекосом:  $b$  – высота втулки;  $c$  – базорасстояние;  $\alpha$  – угол перекоса оси вала относительно оси втулки

Fig. 2. Diagram of parts layout with a skew:  $b$  - bush height;  $c$  - base distance;  $\alpha$  - skew angle of the shaft axis relative to the bush axis

На рис. 3 показано взаимное расположение деталей с учетом несоосности по оси Z (рассмотрена одна плоскость).

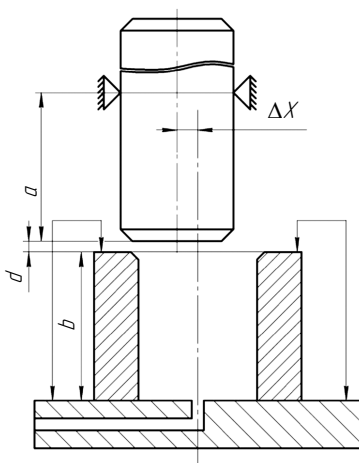


Рис. 3. Схема взаимного расположения деталей с несоосностью:  $d$  – базорасстояние;  $\Delta X$  – осевое смещение

Fig. 3. Diagram of the relative position of parts with misalignment:  $d$  – base distance;  $\Delta X$  – axial displacement

Устранение погрешностей начального базирования и окончательного позиционирования возможно с помощью компенсирующих управляющих воздействий на рабочий орган робота, рассчитываемых на основе математической модели позиционирования деталей и уравнения состояния робота.

### Математическая модель объекта управления

Очевидно, что для обеспечения требуемой равномерности зазора при запрессовке, требуется построение математической модели позиционирования деталей, учитывающей как погрешность изготовления самих деталей, так и позиционирование органов робота.

Уравнение, характеризующее относительное положение сопрягаемых деталей с учетом погрешности позиционирования, приведенных на рис. 2, 3, необходимое для определения величины управляющих сигналов коррекции связанное с обеспечением требуемых параметров позиционирования по координате Z, выглядит следующим образом:

$$z = Cx + Du + \xi, \tag{1}$$

где  $z$  – скорость движения;  $D$  – матрица измененный вектора скорости, учитывающая влияние трения;  $C$  – вектор состояния (скоростемер).

Уравнение динамики, описывающее движение вала и связанное с обеспечением требуемого давления масла, выглядит следующим образом:

$$\dot{z} = Ax + Bu, \tag{2}$$

где  $\dot{z}$  – ускорение движения по координате  $z$ ;  $x$  – перемещение запрессованного вала, или длина запрессовки  $l$ ;  $u$  – переменная, учитывающая влияние трения по сопрягаемым поверхностям;  $A, B$  – коэффициенты, учитывающие инерционные, демпфирующие и другие характеристики, связанные с подводом и поджатием вала перед запрессовкой.

Вычисляемые с определенной дискретностью матрицы векторы  $C$  и  $D$  определяют закон движения запрессовываемой детали или являются математической моделью объекта управления.

Из рис. 1 следует, что гарантированная толщина масляного слоя и связанный с ней расход масла определяется по формуле (3). Толщина масляного слоя  $h_q$  или кольцевой зазор обеспечиваются деформациями вала 1 и втулки 2, имеющими соответствующие размеры  $d_{1q}$  и  $d_{2q}$ . Наиболее ответственным участком является участок начала контакта обеих деталей, так как от равномерности истечения масла через кольцевой зазор зависит качество режима жидкостного трения. При этом возникают следующие вопросы:

1) требуется ли предварительное поджатие, которое бы способствовало равномерному контакту с фасками или необходим подвод вала и втулки с заданной величиной зазора на фасках?

2) зависит ли равномерность и истечение от таких погрешностей взаимного расположения деталей, как перекося и центрирование осей, как показано на рис. 2 и 3?

Объем масла в рабочей полости:

$$Q = \pi r^2 l, \quad (3)$$

где  $r$  – радиус сопряжения;  $l$  – длина полости.

Расход масла в кольцевом зазоре, обеспечивающий жидкостное трение, связан также с зазором и давлением зависимостью

$$Q = \pi r_v \left[ \frac{h^3}{6\eta_0 l_0 c} \left( 1 - \frac{1}{e^{cq}} \right) - V h l_0 \right], \quad (4)$$

где  $r_v$  – радиус вала,  $h$  – величина зазора;  $c$  – пьезокоэффициент;  $\eta_0$  – первоначальная вязкость;  $l_0$  – полная длина запрессовки с учетом торцевого уплотнения;  $V$  – скорость запрессовки.

Очевидно, что точность позиционирования сопрягаемых деталей влияет на равномерность зазора и качество жидкостного трения, а скорость запрессовки – на величину давления масла. С учетом данного аспекта представим суммарную погрешность позиционирования в виде функции

$$\sum \xi = f(\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta Y_1, \Delta Y_2, \Delta Z_1, \Delta Z_2, \alpha, \beta), \quad (5)$$

где  $\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1, \alpha$  – погрешности установки охватываемой детали;  $\Delta X_2, \Delta Y_2, \Delta Z_2, \beta$  – погрешности установки охватываемой детали

#### Управляющий алгоритм

Реализация математической модели объекта управления позволяет разработать структурную схему роботизированного технологического комплекса гидропрессовой сборки (рис. 4).

В качестве обратных связей ориентирования запрессовываемого вала в пространстве принимаются угол наклона и смещение, что потребует дополнения робота датчиком наклона/положения (цифровой акселерометр/гироскоп). Использование дополнительных сенсоров позволит определять положения вала в пространстве относительно охватываемой детали.

На основе зависимости (5) разработан управляющий алгоритм (рис. 5), обеспечивающий минимизацию погрешностей установки сопрягаемых деталей при гидропрессовой сборке.

Таким образом, роботизация позволит при установке деталей в исходной позиции обеспечить минимальные погрешности. Вследствие того, что при сборке гидропрессовых соединений на начальном этапе происходит резкая смена характера трения по схеме «сухое – гранич-

ное – жидкостное», то для повышения точности позиционирования запрессовываемого вала предпочтительным является использование интеллектуальных или адаптивных регуляторов в системе управления роботом.

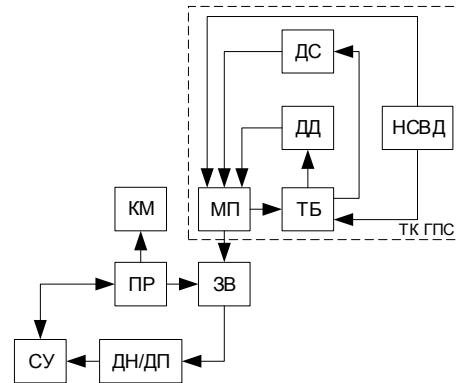
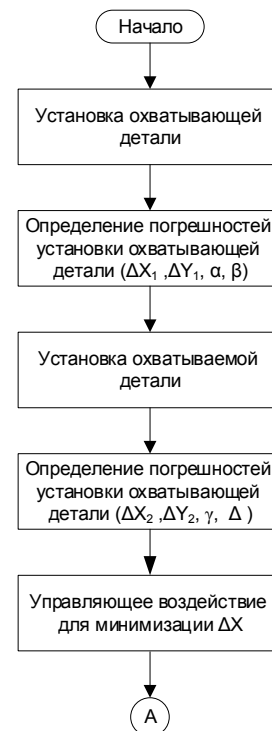


Рис. 4. Структурная схема роботизированного технологического комплекса для гидропрессовой сборки: ПР – промышленный робот; ДС – датчик силы; ДД – датчик давления; ТБ – технологический блок; ЗВ – запрессовываемый вал; МП – мехатронный пресс; ДН/ДП – датчик наклона/датчик положения; НСВД – насосная станция высокого давления; КМ – кассета-магазин с деталями (валами), привязанная к системе координат ТБ; ТК ГПС – технологический комплекс гидропрессовой сборки

Fig. 4. Structural diagram of a robotic technological complex for hydraulic press assembly: PR - industrial robot; DS - force sensor; DD - pressure sensor; TB - technological unit; ZV - pressed shaft; MP - mechatronic press; DN / DP - tilt sensor / position sensor; NSVD - high pressure pumping station; KM - cassette store with parts (shafts), tied to the coordinate system TB; TK GPS - technological complex of hydraulic press assembly



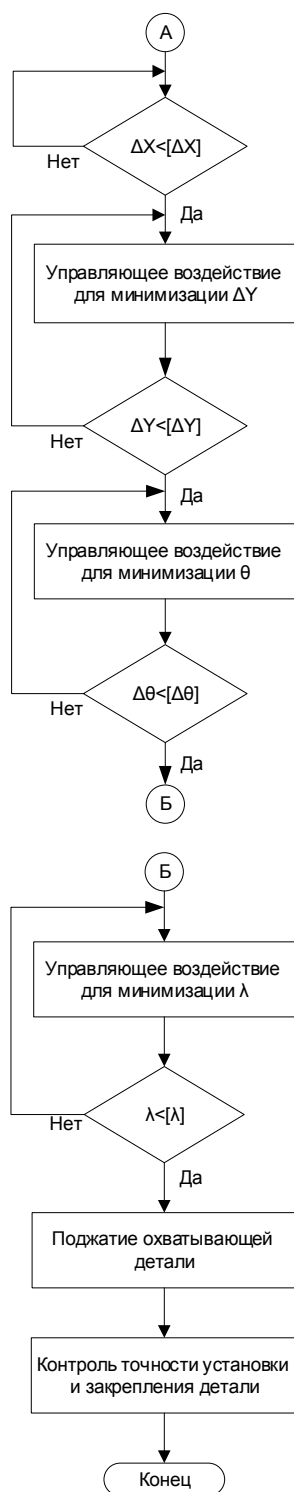


Рис. 5. Управляющий алгоритм минимизации погрешностей установки при роботизированной гидропрессовой сборке

Fig. 5. The control algorithm for minimizing installation errors in a robotic hydraulic press assembly

**Заключение**

Выявлено, что на эффективность сборки и качество гидропрессовых соединений оказывают влияние погрешности взаимного центрирования и предварительного базирования

сопрягаемых деталей. Требования к этим технологическим переходам обусловлены необходимостью обеспечения герметичности рабочей полости и режима жидкостного трения при высоких давлениях масла, а именно: углы заходных фасок составляют 30 и 15° для охватывающей и охватываемой деталей соответственно; перекося должен быть скомпенсирован до величины 1,5-3° на длине 0,1 от длины запрессовки; сила поджатия в зависимости от диаметра сопряжения и натяга составляет 5 % от расчетной силы запрессовки.

Математическая модель движения рабочего органа робота включает в себя уравнение, учитывающее суммарные погрешности позиционирования и изготовления собираемых деталей ( $\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1, \alpha$  – погрешности установки охватывающей детали;  $\Delta X_2, \Delta Y_2, \Delta Z_2, \beta$  – погрешности установки охватываемой детали), а также уравнение динамики робота в пространстве состояний, описывающее процесс запрессовки вала и режим жидкостного трения. В представленном виде математическая модель комплексно описывает процесс роботизированной гидропрессовой сборки.

Управляющий алгоритм построен на обратных связях, реализуемых посредством датчиков давления, силы, наклона и положения, что обеспечивает минимизацию погрешностей установки деталей и качественный переход от граничного к жидкостному трению. Использование в структурной схеме роботизированного технологического комплекса интеллектуального регулятора системы автоматического управления позволит обеспечить эффективность запрессовки и качество гидропрессовых соединений в течение всего рабочего цикла. Предложенный управляющий алгоритм является основой для разработки программно-аппаратного комплекса роботизированной гидропрессовой сборки.

**Библиографические ссылки**

1. Автоматизированный регулятор избыточного объема масла для гидропрессовой сборки / И. В. Абрамов, А. И. Абрамов, Башар Салама, А. В. Романов // Интеллектуальные системы в производстве. 2017. Т. 15, № 2. С 10–13.
2. Абрамов А. И., Абрамов И. В., Романов А. В. Научно-технические аспекты автоматизации гидропрессовой сборки соединения с натягом // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 1. С. 16–18.
3. Высокоточные соединения с гарантированным натягом / И. В. Абрамов, Ф. Ф. Фаттиев, В. А. Дулотин [и др.]. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2002. 300 с.

4. Теория и технология гидропрессовых соединений : монография / А. В. Щенятский, И. В. Абрамов, Э. В. Соснович, К. А. Глухова. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. 496 с.

5. Интеллектуальные мехатронные системы : учеб. пособие для студ. вузов / И. В. Абрамов, А. И. Абрамов, Ю. Р. Никитин, С. А. Трефилов. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. 192 с.

6. Мишулин Ю. Е., Егоров И. Н., Буненков В. В. Система управления адаптивным сборочным роботом с моделью технологического процесса // Фундаментальные исследования. 2015. № 12-4. С. 707-712.

7. Зенкевич С. Л., Ющенко А. С. Основы управления манипуляционными роботами. 2-е изд. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 480 с.

8. Базров Б. М., Таратынов О. В., Клепиков В. В. Технология сборки машин : учеб. пособие / под общ. ред. Б. М. Базрова. М. : Спектр, 2011. 368 с.

9. Экспериментальные исследования условий собираемости при активной роботизированной сборке / М. В. Варганов, М. В. Архипов, В. К. Петров, Р. С. Мищенко // СТИН. 2017. № 4. С. 14-16.

10. Roth G. Flexibel automatisierte Montage genormter Welle-Nabe-Verbindungen. Stuttgart, Inst. für Werkzeugmaschinen, 1992, 144 p. (Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen : Konstruktion und Fertigung).

11. Liuti A., Rodriguez Vedugo F., Paone N. High-accuracy interference-fit assembly utilizing a hybrid actuator. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018, vol. 95, no. 1-4, pp 747-758. doi: 10.1007/s00170-017-1256-3.

12. Liuti A., Rodriguez Verdugo F., Paone N., Ungaro C. Monitoring techniques for high accuracy interference fit assembly processes. *Proc. of 12<sup>th</sup> International AIVELA Conference on Vibration Measurements by Laser and Noncontact Techniques*, 2016, pp. 1741-1752. doi: 10.1063/1.4952677.

13. Ibrahim Fahad Jasim Ghalyan. Force-Controlled Robotic Assembly Processes of Rigid and Flexible Objects. Springer International Publ. Switzerland, 2016, 184 p. doi: 10.1007/978-3-319-39185-4.

14. Chen H., Zhang B., Zhang G. Robotic Assembly. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Springer, London, 2014, pp. 1-47. doi: 10.1007/978-1-4471-4976-7\_105-1.

15. Raju Bahubalendruni M.V.A., Biswal B.B. An Intelligent Method to Test Feasibility Predicate for Robotic Assembly Sequence Generation. Jain L., Patnaik S., Ichalkaranje N. (eds) *Intelligent Computing, Communication and Devices. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 308. Springer, New Delhi, 2015, pp. 277-283. doi: 10.1007/978-81-322-2012-1\_29.

16. Vartanov M.V., Arkhipov M.V., Petrov V.K. Active adaptation in robotic assembly. *Russian Engineering Research*, 2017, vol. 37, no. 9, pp. 814-816. doi: 10.3103/S1068798X17090222.

17. Faccio M., Bottin M., Rosati G. Collaborative and traditional robotic assembly: a comparison model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019, pp. 1-18. doi: 10.1007/s00170-018-03247-z.

18. Belonozhko P.P. Robotic Assembly and Servicing Space Module Peculiarities of Dynamic Study of Given System. In: Gorodetskiy A., Tarasova I. (eds) *Smart Electromechanical Systems. Studies in Systems, Decision and Control*, 2019, vol. 174. Springer, Cham, pp. 287-296. doi: 10.1007/978-3-319-99759-9\_23.

19. Теория и технология гидропрессовых соединений : монография / А. В. Щенятский, И. В. Абрамов, Э. В. Соснович, К. А. Глухова. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. 496 с.

20. Интеллектуальные мехатронные системы : учеб. пособие для студ. вузов / И. В. Абрамов, А. И. Абрамов, Ю. Р. Никитин, С. А. Трефилов. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. 192 с.

## References

1. Abramov I.V., Abramov A.I., Bashar S., Romanov A.V. [Automated regulator of excess oil volume for hydraulic press assembly]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2017, vol. 15, no. 2, pp. 10-13 (in Russ.).

2. Abramov A.I., Abramov I.V., Romanov A.V. [Scientific and technical aspects of the automation of the hydraulic press assembly]. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii*, 2013, no. 1, pp. 16-18 (in Russ.).

3. Abramov I.V., Fattiev F.F., Dulotin V.A. *Vysokonapryazhennye soedineniya s garantirovannym natyagom* [High-stress connections with guaranteed tightness]. Izhevsk, IzhGTU Publ., 2002, 300 p. (in Russ.).

4. Shchenyatskij A.V., Abramov I.V., Sosnovich E.V., Gluhova K.A. *Teoriya it ehnologiya gidroressovoyh soedinenij* [Theory and technology of hydraulic press connections]. Izhevsk, IzhGTU Publ., 2012, 496 p. (in Russ.).

5. Abramov I.V., Abramov A.I., Nikitin Yu.R., Trefilov S.A. *Intellektual'nye mekhatronnye sistemy* [Intellectual mechatronic systems]. Izhevsk, Kalashnikov ISTU Publ., 2015, 192 p. (in Russ.).

6. Mishulin Yu.E., Egorov I.N., Bunenkov V.V. [Control system of the adaptive assembly robot with the technological process]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, no. 12-4, pp. 707-712 (in Russ.).

7. Zenkevich S.L., Yushchenko A.S. *Osnovy` upravleniya manipulyacionny`mi robotami* [Fundamentals of manipulation robots]. Moscow, MGTU im. N. E. Bauman Publ., 2004, 480 p. (in Russ.).

8. Bazrov B.M., Taratynov O.V., Klepikov V.V. *Tekhnologiya sborki mashin* [Machines assembly technology]. Moscow, Spektr Publ., 2011, 368 p. (in Russ.).

9. Vartanov M.V., Arkhipov M.V., Petrov V.K., Mishchenko R.S. [Experimental studies of the conditions of collection with an active robotic assembly]. *STIN*, 2017, no. 4, pp. 14-16 (in Russ.).

10. Roth G. Flexibel automatisierte Montage genormter Welle-Nabe-Verbindungen. Stuttgart, Inst. für Werkzeugmaschinen, 1992, 144 p. (Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen : Konstruktion und Fertigung).

11. Liuti A., Rodriguez Vedugo F., Paone N. High-accuracy interference-fit assembly utilizing a hybrid ac-

tuator. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2018, vol. 95, no. 1-4, pp 747-758. doi: 10.1007/s00170-017-1256-3.

12. Liuti A, Rodriguez Verdugo F, Paone N, Ungaro C. Monitoring techniques for high accuracy interference fit assembly processes. *Proc. of 12<sup>th</sup> International AIVELA Conference on Vibration Measurements by Laser and Noncontact Techniques*, 2016, pp. 1741-1752. doi: 10.1063/1.4952677.

13. Ibrahim Fahad Jasim Ghalyan. Force-Controlled Robotic Assembly Processes of Rigid and Flexible Objects. Springer International Publ. Switzerland, 2016, 184 p. doi: 10.1007/978-3-319-39185-4.

14. Chen H., Zhang B., Zhang G. Robotic Assembly. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Springer, London, 2014, pp. 1-47. doi: 10.1007/978-1-4471-4976-7\_105-1.

15. Raju Bahubalendruni M.V.A., Biswal B.B. An Intelligent Method to Test Feasibility Predicate for Robotic Assembly Sequence Generation. Jain L., Patnaik S., Ichalkaranje N. (eds) *Intelligent Computing, Communication and Devices. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 308. Springer, New Delhi, 2015, pp. 277-283. doi: 10.1007/978-81-322-2012-1\_29.

16. Vartanov M.V., Arkhipov M.V., Petrov V.K. Active adaptation in robotic assembly. *Russian Engineering Research*, 2017, vol. 37, no. 9, pp. 814-816. doi: 10.3103/S1068798X17090222.

17. Faccio M., Bottin M., Rosati G. Collaborative and traditional robotic assembly: a comparison model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019, pp. 1-18. doi: 10.1007/s00170-018-03247-z.

18. Belonozhko P.P. Robotic Assembly and Servicing Space Module Peculiarities of Dynamic Study of Given System. In: Gorodetskiy A., Tarasova I. (eds) *Smart Electromechanical Systems. Studies in Systems, Decision and Control*, 2019, vol. 174. Springer, Cham, pp. 287-296. doi: 10.1007/978-3-319-99759-9\_23.

19. Shchenyatskiy A.V., Abramov I.V., Sosnovich E.V., Gluhova K.A. *Teoriya it ekhnologiya gidroressovyh soedinenij* [Theory and technology of hydraulic press connections]. Izhevsk, IzhGTU Publ., 2012, 496 p. (in Russ.).

20. Abramov I.V., Abramov A.I., Nikitin Yu.R., Trefilov S.A. *Intellectual'nye mekhatronnye sistemy* [Intellectual mechatronic systems]. Izhevsk, Kalashnikov ISTU Publ., 2015, 192 p. (in Russ.).

### Scientific and Technical Aspects of Interference Fits Hydropress Assembling Automation Using Robot

A.I. Abramov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Yu.R. Nikitin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A.V. Romanov, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

O.E. Zorina, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Bashar Salama, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*The paper deals with the main aspects of hydropress interference fits assembly automation using industrial robots. The research object - the technological process of assembling of connections with the interference - is identified; a technological scheme with end supply of oil is taken. The basic inaccuracies of initial basing and final positioning of mating parts which affect on the efficiency and quality of hydropress fits are determined, compensation of these errors will ensure the uniformity of the gap during pressing.*

*A mathematical model of the robot working body motion including an equation that considers the position of the mating parts with account of the total error of positioning and manufacturing of the assembled parts, which is necessary to determine the correction control signals value, and the assembling process dynamic equation, describing the movement of the shaft and associated with ensuring the required oil pressure.*

*The structure and the control algorithm of the robotic complex of hydropress assembling, which provide compensation for inaccuracies of installation and positioning, are proposed. The algorithm is based on a complex of pressure, force, tilt and position sensors feedbacks, which provides a qualitative transition from boundary to liquid friction. Recommendations on the choice of regulators for the robot control system are given, the most preferred are intelligent or adaptive controllers.*

**Keywords:** robotization, hydropress assembly, connection with tension, error, model, regulators.

Получено 29.11.2018

#### Образец цитирования

Научно-технические аспекты автоматизации гидропрессовой сборки соединений с натягом с использованием робота / А. И. Абрамов, Ю. Р. Никитин, А. В. Романов, О. Е. Зорина, Салама Башар // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 1. С. 3–9. DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-3-9.

#### For Citation

A.I. Abramov, Y.R. Nikitin, A.V. Romanov, O.E. Zorina, Bashar Salama. [Scientific and technical aspects of automation of the hydropress assembly of connections with tension using a robot]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 3-9 (in Russ.). DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-3-9.