

УДК 621.791

DOI:10.30987/2223-4608-2020-8-36-41

**П.А. Витязь**, академик  
(ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»),  
**М.Л. Хейфец**, д.т.н.  
(ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Беларусь),  
**Н.Л. Грецкий**, начальник отдела  
(ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь),  
**Д.Н. Хилько**, директор  
(ООО «ШТРАБАГ Инжиниринг Центр», Минск, Беларусь)  
E-mail: mlk-z@mail.ru

## **Комплексное восстановление рабочих поверхностей крупногабаритного изделия, работающего в условиях химико-биологической и абразивной среды**

*Показан комплексный подход к восстановлению крупногабаритных деталей. Приведены разработанные методы восстановления рабочих поверхностей деталей в зависимости от степени износа. Представлены современные технологии и оборудование для диагностики изношенных поверхностей. Описан метод послойного восстановления и упрочнения изношенных поверхностей крупногабаритных деталей при капитальном ремонте изделий. Даны основные рекомендации по эксплуатации для увеличения ресурса шнекового вала.*

**Ключевые слова:** ремонт; восстановление; упрочнение; крупногабаритное изделие; шнековый вал; химико-биологическая среда; абразивный износ.

**P.A. Vityaz**, Academician,  
(MSD "United Institute of Mechanical Engineering of NAS of Belarus")  
**M.L. Heifets**, Dr. Sc. Tech.,  
(MSD "Institute of Applied Physics of NAS of Belarus", Minsk, Belarus)  
**N.L. Gretskey**, head of department  
(PC "SPC Center", NAS of Belarus, Minsk, Belarus)  
**D.N. Khilko**, director  
(JSC "ShTRABAG Engineering Center", Minsk, Belarus)

## **Complex restoration of operation surfaces in large-sized products operated under conditions of chemical-biological and abrasive environment**

*A complex approach to large-sized parts restoration is shown. There are shown methods developed for parts operation surface restoration depending on a wear degree. There are presented modern technologies and equipment for worn-out surface diagnostics. A method for layer-by-layer restoration and large-sized parts worn-out surface strengthening during product major repair is described. Basic recommendations on operation to increase auger shaft life are given.*

**Keywords:** repair; restoration; strengthening; large-sized product; auger shaft; chemical-biological environment; abrasive wear.

## Введение

Современные технологии химико-биологической и механической переработки органических отходов методом твердофазного и жидкофазного сбраживания, для обезвоживания сброженных субстратов, шламов с высоким содержанием сухого вещества используют шнековые прессы различных европейских производителей (рис.1).

В Республике Беларусь в г.Брест реализован «пилотный проект» по химико-биологической и механической переработке твердых бытовых отходов с получением биогаза из органической фракции твердых бытовых отходов по технологии LARAN немецкой фирмы STRABAG Umwelttechnik GmbH.



Рис. 1. Шнековый пресс для обезвоживания сброженного субстрата после биогазовой установки

При обезвоживании сброженного субстрата на начальной стадии используется шнековый фильтр-пресс немецкого производителя Bellmer Kufferath со шнековым валом, витки которого в зоне давления подвержены в агрессивной химико-биологической среде интенсивному абразивному изнашиванию из-за содержания в исходном материале большого количества песка, камней, пластика (рис. 2).

Восстановлению и упрочнению изношенных, как в агрессивных химических и биологических средах, так и в абразивных средах при высоких давлениях, деталей механизмов и машин посвящено большое количество научно-практических и справочно-методических работ [1 – 5 и др.]. Однако исследований, определяющих маршрут восстановления изношенных рабочих поверхностей деталей, в зависимости от степени их износа, зачастую превышающего предельно допустимый, крайне мало [5–8 и др.].

В этой связи целью исследований являлась разработка технологического маршрута комплексного восстановления рабочих поверхностей, в зависимости от степени их износа, для

уникальных крупногабаритных изделий и выработка рекомендаций по их рациональной эксплуатации до определенного состояния при изнашивании в агрессивной среде.



а)



б)

Рис. 2. Рабочая зона обезвоживающего пресс-шнека в процессе демонтажа:

а – со стороны загрузки фракции;

б – со стороны выгрузки субстратов

## Методика исследований и технических осмотров изделия

Для поддержания шнекового прессы в работоспособном состоянии были проведены исследования процесса изнашивания шнекового вала. С помощью металлографических исследований и химического анализа устанавливались материалы основы и химический состав нанесенного производителем упрочняющего покрытия.

Проведенные металлографические исследования и выполненный на рентгенофлуоресцентном анализаторе SKY GTX химический анализ показали, что для изготовления вала шнека можно использовать материал аналогичный стали С355 с нанесенным упрочняющим хромоникелевым покрытием или их аналогами по физико-механическим свойствам.

В результате анализа разработана методика диагностики и оценки остаточного ресурса крупногабаритного изделия и предложена технология послойного восстановления изно-

шенных рабочих поверхностей ферропорошками и проволоками с применением электрофизических источников энергии, проведены металлографические исследования восстановленной поверхности, подтверждающие ее качество.

При исследовании рабочих процессов шнекового пресса установлено, что при достижении износа витков шнекового вала свыше 5 мм на сторону требуется капитальный ремонт изделия, так как дальнейшая эксплуатация пресса не целесообразна, в связи со значительным снижением его пропускной способности. На пропускную способность пресса также влияет состояние упрочняющего покрытия (рис. 3, *а*) и целостность последних наиболее нагруженных витков шнекового вала (рис. 3, *б*).



*а)*



*б)*

**Рис. 3. Участки износа витков шнекового вала:**  
*а* – выкрошенный участок покрытия; *б* – выломанный последний виток

Поэтому в процессе работы пресса требуется регулярно проводить технический осмотр состояния витков вала и своевременно устранять трещины и сколы упрочняющего покрытия.

При износе витков до 5 мм на сторону допускается производить ремонт мелких трещин и сколов без демонтажа шнекового вала. Восстановление геометрии можно производить электродами CARBO 4370, а физико-

химические свойства обеспечивать последующей наплавкой электродами CARBODUR 65 в соответствии с DIN 8555 (E10-UM-65-GTZ).

### Рекомендации по эксплуатации и ремонту изделия, восстановлению и упрочнению деталей

Проведенные исследования и технические осмотры позволили сформировать рекомендации по длительной эксплуатации и поддержанию максимального времени работоспособного состояния шнекового вала.

При достижении износа витков свыше 5 мм на сторону требуется демонтаж и выполнение капитального ремонта изделия с обязательным контролем его пространственной геометрии.

Капитальный ремонт крупногабаритного изделия выполняется по следующему технологическому маршруту:

1. Демонтаж и транспортировка на ремонтный участок.
2. Очистка и подготовка поверхности детали (включая дробеструйную обработку) для диагностических измерений и контроля пространственной геометрии перед последующим восстановлением (рис. 4).



*а)*



*б)*

**Рис. 4. Состояние шнекового вала:**  
*а* – поступившего на диагностику; *б* – после очистки и дробеструйной обработки

3. Диагностика и измерение простран-

венной геометрии рабочего вала с помощью лазерного сканера ModelMaker MMDx100, установленного на координатно-измерительной руке Nikon Metrology MCAx40+ (рис. 5).



Рис 5. Процесс сканирования пространственной геометрии шнекового вала с помощью лазерного сканера ModelMaker MMD×100

4. Обработка полученных данных (STL-модели сканера) и определение кривизны цилиндрической части шнекового вала. Для определения кривизны пространственной геометрии шнекового вала строятся цветные карты отклонений от номинального диаметра цилиндрической (без учета витков) поверхности (рис. 6). При отклонении цилиндрической поверхности более чем на 5 мм требуется правка проблемных участков на специально разработанном приспособлении с помощью гидравлических домкратов.

5. Срезание оставшегося упрочняющего покрытия ручной плазменной резкой производится в том же приспособлении.

6. Правка посадочных (базовых) поверхностей и обработка витков шнека после плазменной резки для последующей наплавки проволокой (рис. 7).

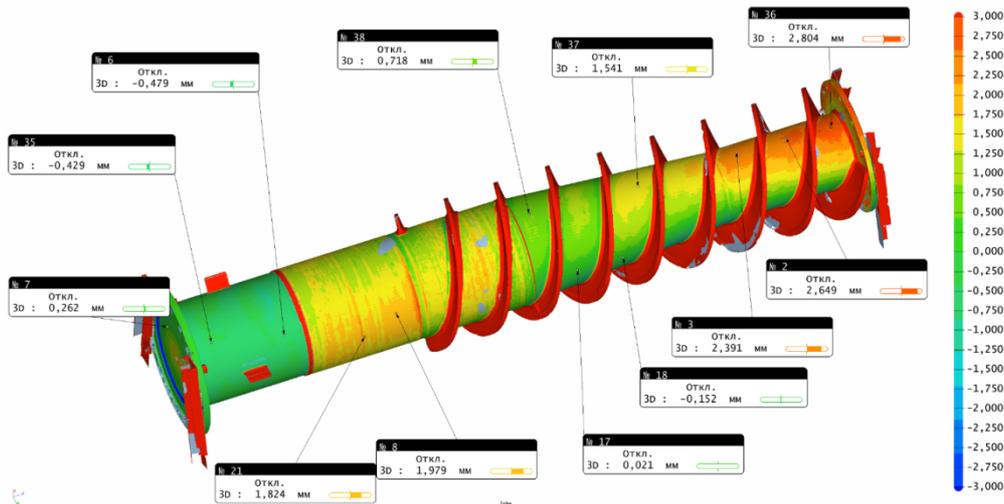


Рис. 6. Цветовая карта отклонений цилиндрических поверхностей отсканированной STL-модели относительно номинальной

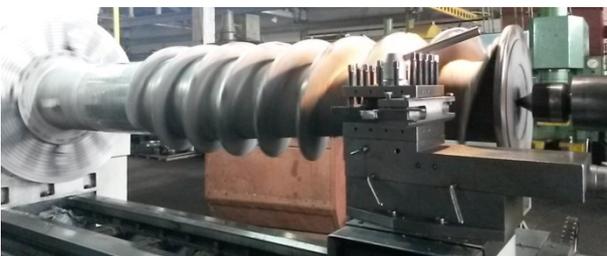


Рис. 7. Правка базовых поверхностей и обработка витков шнека

7. Наплавка проволокой Нп-30 и последующая токарная обработка на крупногабаритном универсальном токарно-винторезном станке ДИП-500 (рис. 8).

8. Электромагнитная наплавка порошка ферротитана [9, 10] с последующим шлифованием на токарно-винторезном станке ДИП-500

с помощью специальной оснастки (рис. 9).



Рис. 8. Токарная обработка витков шнека после наплавки проволокой на станке ДИП-500

9. Очистка поверхности шнекового вала после процесса упрочнения.

10. Визуальный контроль качества выполненных работ.

11. Контроль твердости (портативным прибором ТЭМП-2) упрочненной поверхности

витков с шагом 100 мм (твердость покрытия должна находиться в пределах 60...62 HRC).



Рис. 9. Шлифование на токарно-винторезном станке ДИП-500 с применением специальной оснастки

12. Измерение восстановленной геометрии витков шнекового вала с помощью лазерного сканера Model Maker MMDx100, установленного на координатно-измерительной руке Nikon Metrology MСAx40+. При построении цветовой карты отклонений от номинального размера сначала сравнивается отклонение витков диаметром 627 мм (рис. 10), а затем витков диаметром 601 мм.

13. Обезжиривание поверхности и покрытие ее коррозионностойким грунтом.

14. Отгрузка потребителю восстановленного изделия.

### Заключение

Таким образом, комплексный подход к восстановлению уникальных крупногабаритных изделий с применением электрофизических источников энергии при наплавке порошков и проволок дает возможность не только обеспечить нужные геометрические характеристики поверхности при восстановлении, но и повысить физико-механические свойства материала поверхностного слоя при упрочнении.

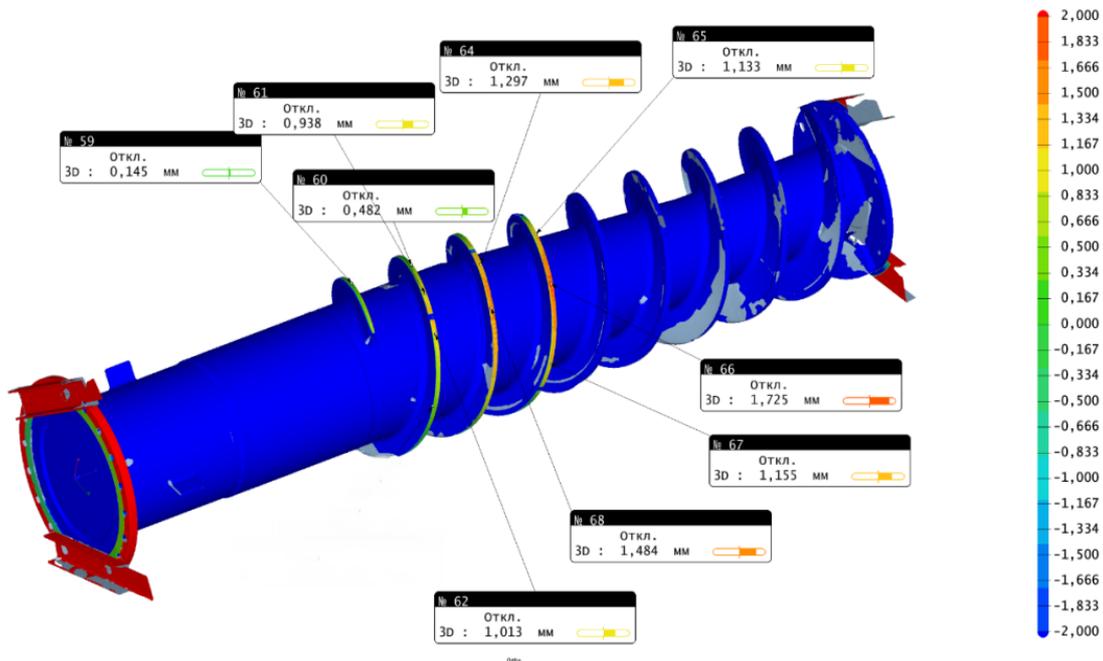


Рис. 10. Цветовая карта STL-модели отклонений поверхностей витков диаметром 627 мм относительно поверхности номинального размера

Стоимость капитального ремонта при восстановлении шнекового вала пресса в два раза ниже, чем изготовление нового вала. Выполнение капитального ремонта ограничено сроком в два месяца, поэтому актуальным является

регулярный контроль степени износа витков вала и их локальное восстановление с использованием предложенных наплавочных материалов и технологий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Воловик, Е.Л.** Справочник по восстановлению деталей / Е.Л. Воловик. – М.: Колос, 1981. – 351 с.
2. **Технологические** основы управления качеством машин / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А. Клименко [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
3. **Технологические** и эксплуатационные методы обеспечения качества машин / В.Б. Альгин, В.Ю., Блюменштейн, А.С. Васильев, [и др.]; под общ. ред. П.А. Витязя. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 109 с.
4. **Чижик, С.А.** Обеспечение качества изделий в технологических комплексах / С.А. Чижик, П.А. Витязь, М.Л. Хейфец, [и др.]; под общ. ред. М.Л. Хейфеца – Минск: Беларус. навука, 2019. – 248 с.
5. **Kolmakov, A.G.** Technological Control on the Heredity of Operational Quality Parameters / A.G. Kolmakov, M.L. Kheifetz, N.L. Gretskiy, G.B. Prement // *Chapter in book: Engineering Failure Analysis*. – London: IntechOpen, 2019. – pp. 1-20. *Publish: November 27th 2019*. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89471>.
6. **Хейфец, М.Л.** Технологическое наследование эксплуатационных параметров качества в жизненном цикле деталей двигателя внутреннего сгорания/ М.Л. Хейфец, Н.Л. Грецкий, Г.Б. Премент // *Научноёмкие технологии в машиностроении*. 2019. № 7(97). – С. 35-42.
7. **Хейфец, М.Л.** Технологическое наследование эксплуатационных параметров качества при восстановлении и упрочнении деталей двигателя внутреннего сгорания/ М.Л. Хейфец, Н.Л. Грецкий, Г.Б. Премент // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2019. Т.15. №8(176). – С. 375-380.
8. **Kheifetz, M.L.** Technological Control of the Heredity of Operational Quality Parameters in the Engine Camshaft Recovery/ M.L. Kheifetz, G.B. Prement, N.L. Gretskey // *Advanced Materials and Technologies*. 2019, No.1. – pp.12-20.
9. **Хейфец, М.Л.** Теплофизика процессов наплавки покрытий ферромагнитными порошками в электромагнитном поле / М.Л. Хейфец, Н.Л. Грецкий, Л.М. Кожуро // *Упрочняющие технологии и покрытия*. – 2008 - № 5. – С. 3-8.
10. **Справочник** технолога / под ред. А.Г. Сулова. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.

## REFERENCES

1. Volovik, E.L. *Reference Book on Parts Restoration* / E.L. Volovik. – M.: Kolos, 1981. – pp. 351.
2. *Technological Fundamentals of Machine Quality Control* / A.S. Vasiliev, A.M. Dalsky, S.A. Klimentko [et al.]. – M.: Mechanical Engineering, 2003. – pp. 256.
3. *Technological and Operation Methods to Ensure Machine Quality* / V.B. Algin, V.Yu. Blumenstein, A.S. Vasiliev, [et al.]; under the general editorship of P.A. Vityaz. – Minsk: Belorussian Science, 2010. – pp. 109.
4. Chizhik, S.A. *Product Quality Support in Engineering Complexes* / S.A. Chizhik, P.A. Vityaz, M.L. Heifets, [et al.]; under the general editorship of M.L. Heifets – Minsk: Belorussian Science, 2019. – pp. 248.
5. Kolmakov, A.G. Technological Control on the Heredity of Operational Quality Parameters / A.G. Kolmakov, M.L. Kheifetz, N.L. Gretskiy, G.B. Prement // *Chapter in book: Engineering Failure Analysis*. – London: IntechOpen, 2019. – pp. 1-20. *Publish: November 27th 2019*. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89471>.
6. Heifets, M.L. Technological inheritance of quality operation parameters in internal combustion engine parts life/ M.L. Heifets, N.L. Gretskey, G.B. Prement// *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2019. No.7(97). – pp. 35-42.
7. Heifets, M.L. Technological inheritance of quality operation parameters at restoration and strengthening parts of an internal combustion engine/ M.L. Heifets, N.L. Gretskey, G.B. Prement// *Strengthening Techniques and Coatings*. 2019. Vol.15. No.8(176). – pp. 375-380.
8. Kheifetz, M.L. Technological Control of the Heredity of Operational Quality Parameters in the Engine Camshaft Recovery/ M.L. Kheifetz, G.B. Prement, N.L. Gretskey // *Advanced Materials and Technologies*. 2019, No.1. – pp.12-20.
9. Heifets, M.L. Thermo-Physics surface weld-deposition with ferro-magnetic powders in electro-magnetic field / M.L. Heifets, N.L. Gretskey, L.M. Kozhuro // *Strengthening Techniques and Coatings*. – 2008 – No.5. – pp. 3-8.
10. *Technologist's Reference Book* / under the editorship of A.G. Suslov. M.: Innovation Mechanical Engineering, 2019. pp. 800.

*Рецензент д.т.н. А.П. Ласковнев*