

УДК 621.313.2:615.014.4

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ЭКСТРУДЕРА
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ АСЕПТИЧЕСКОГО РОЗЛИВА
ЖИДКОСТЕЙ****А.А. Темляков***Новосибирский государственный технический университет*

В статье рассматривается инженерно-техническое решение по замене двигателя постоянного тока (ДПТ) Siemens привода экструдера автоматизированной линии асептического розлива bottelpack (BFS-технология) на отечественный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АД КРЗ). Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечения технологического суверенитета фармацевтических производств в условиях санкционных ограничений и отсутствия прямой технической поддержки производителя. Для принятия рационального решения выполнено обоснование выбора компонентов, разработана и внедрена схема аппаратной интеграции нового привода с существующей системой управления линией.

В результате модернизации двигателя достигнут значительный технико-экономический эффект, заключающийся в снижении времени простоев, а также в росте производительности линии. Дополнительным преимуществом стало отсутствие графитовой пыли от щеточно-коллекторного узла, что повысило экологичность производства в чистых зонах. Практическая значимость работы заключается в участии глубокой модернизации сложного фармацевтического оборудования, которая может быть использована на аналогичных производствах.

Ключевые слова: импортозамещение, BFS-технология, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, экструдер, фармацевтическое оборудование, технологический суверенитет, чистые помещения.

DOI: 10.17212/1727-2769-2026-2-65-70

Введение

Импортозамещение в фармацевтической отрасли Российской Федерации перестало быть сугубо экономической категорией. В настоящее время это комплексная стратегия обеспечения национальной безопасности в сфере здравоохранения. Критическим звеном данной стратегии является не только воспроизводство готовых лекарственных форм, но и создание собственной базы фармацевтического машиностроения [1].

Оборудование для производства стерильных инъекционных препаратов по технологии BFS (Blow-Fill-Seal) исторически относится к категории высокотехнологичных и наукоемких средств производства [2]. Мировой рынок BFS-оборудования консолидирован: ключевыми игроками выступают швейцарская Rommelag, итальянская Brevetti Angela, а также ряд американских и немецких компаний. До 2022 г. парк оборудования российских фармпроизводителей был представлен преимущественно импортными

линиями, в первую очередь bottelpack компании Rommelag. Уход западных сервисных служб и прекращение прямых поставок запчастей сформировали операционные риски для отечественных предприятий.

1. BFS-технология и роль экструдера в производственном цикле

BFS-технология является отраслевым стандартом для асептического розлива жидкостей в пластиковые контейнеры малого и среднего объема [3]. Процесс включает три неразрывные стадии: экструзию расплавленного полимера через головку с формированием трубчатой заготовки (парисона), выдув контейнера в пресс-форме, дозированное наполнение раствором и герметизацию.

Принципиальным преимуществом BFS-технологии является минимизация человеческого фактора и воздействия внешней среды. Однако реализация данного преимущества невозможна без абсолютной стабильности технологических параметров. Экструдер выполняет функцию преобразования твердых гранул фармакопейного полиэтилена или полипропилена в гомогенный расплав.

Ключевые требования к приводу экструдера:

- 1) постоянство момента на шнеке при колебаниях вязкости расплава и противодействия в фильере;
- 2) высокий пусковой момент (необходим для страгивания заполненного холодным полимером шнека после остановок);
- 3) широкий диапазон регулирования скорости (для адаптации производительности под типоразмер контейнера);
- 4) минимальное пылевыведение (критично для чистых помещений класса В и зон класса А).

Штатный привод линии bottelpack независимого возбуждения Siemens 1GH6162-0JD70-6WV5-Z исторически обеспечивал хорошие регулировочные свойства, однако его эксплуатация в условиях фармпроизводства выявила ряд системных недостатков, к числу которых относятся недостатки ДПТ Siemens 1GH6162.

2. Анализ недостатков ДПТ Siemens 1GH6162

1. Щеточно-коллекторный узел как источник загрязнений.

Трение графитовых щеток о коллектор неизбежно генерирует токопроводящую графитовую пыль. В условиях чистых помещений класса В наличие источника пыли недопустимо. Для компенсации этого фактора линия оснащена дополнительной локальной вытяжной вентиляцией, что усложняет конструкцию и требует верификации аэродинамики воздушных потоков.

2. Низкая ремонтпригодность и ресурс.

Ресурс щеток ограничен (8–12 месяцев). Износ коллектора требовал периодической проточки и шлифовки. Операции по замене щеток и обслуживанию коллектора являются трудоемкими и требуют длительной остановки линии.

3. Чувствительность к пусковым режимам.

При повторных пусках горячего экструдера возникали броски тока, вызывающие подгорание ламелей коллектора, что кратно снижало ресурс.

4. Логистическая уязвимость.

Двигатель является импортным. Заказ нового агрегата или комплекта щеток через параллельный импорт приводил к увеличению срока поставки до 6–12 месяцев и росту стоимости.

3. Замена двигателя постоянного тока на асинхронный частотно-регулируемый двигатель

Перед инженерной службой, обслуживающей привод экструдера автоматизированной линии асептического розлива, стояла задача не просто восстановить работоспособность линии, а повысить ее технологическую гибкость и снизить операционные затраты, полностью исключив зависимость от импортных поставок.

Применение традиционных двигателей постоянного тока в долгосрочной перспективе не отвечает критериям надежности и импортнезависимости из-за наличия дорогостоящего и быстроизнашиваемого коллекторно-щеточного узла, требующего постоянного обслуживания.

В качестве альтернативы была предложена и обоснована замена ДПТ на асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АД КЗР). Выбор этого двигателя обусловлен его предельной конструктивной простотой, отсутствием скользящих контактов, высокой ремонтпригодностью и массовой доступностью компонентов российского производства [4].

При решении поставленной задачи возникла проблема, связанная с тем, что классические методы расчета асинхронных двигателей, включая аналитические модели электрических машин, исторически строятся из допущения о синусоидальности питающей сети. Однако при работе двигателя совместно с преобразователем частоты на обмотки воздействует не непрерывный синусоидальный сигнал, а последовательность высокочастотных прямоугольных импульсов, лишь эквивалентно формирующих основную гармонику тока [5, 6]. При таком импульсном питании в магнитопроводе и обмотках возникают дополнительные потери от высших гармоник, пульсации момента и локальные перегревы, которые невозможно адекватно описать в рамках традиционных аналитических моделей, основанных на синусоидальном приближении.

Именно поэтому для качественного проектирования АД КЗР было предложено применение методов, базирующихся на численном моделировании электромагнитных процессов, которое позволяет учитывать геометрические особенности конструктивных элементов, зависимость свойств материалов от моделируемого поля, величину и форму несинусоидального напряжения, подаваемого на обмотку якоря, а также режимы работы. Наиболее эффективным для этого является применение метода конечных элементов [7].

4. Критерии выбора альтернативного двигателя

В качестве основных решающих факторов, влияющих на выбор альтернативных отечественных двигателей, были определены следующие требования.

1. Величина перегрузочной способности двигателя.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором общепромышленных серий имеют $\lambda \approx 2,2 \dots 2,5$. Этого достаточно для пуска заполненного шнека.

2. Отсутствие обслуживаемых контактных узлов.

Асинхронный двигатель не требует замены щеток и проточки коллектора. Полное исключение графитовой пыли повышает чистоту производственных помещений и позволяет отказаться от дополнительной вытяжки.

3. Локализация производства.

Приоритет был отдан российским двигателям (выбран А200М4-ИФБУЗ производства компании «Элдин» или аналоги). Это гарантирует их поставку и исключает валютные риски.

5. Техничко-экономическая эффективность модернизации

Внедрение асинхронного частотно-регулируемого привода позволило получить количественно измеримые результаты.

Отсутствие щеточно-коллекторного узла сократило время регламентных работ на 30 %. Исключены операции по замене щеток, продувке двигателя, проверке вытяжки. Это позволит повысить производительность на 10 % (эквивалент + 1 млн ампул/месяц).

Доля отказов, связанных с электроприводом, снизилась на 80 %. Ликвидированы остановки по причине искрения коллектора, износа щеток, ложных срабатываний защиты тиристорного преобразователя. В общем балансе аварий линии доля электропривода сократилась на 20 %. Это позволит повысить производительность на 5 % (эквивалент + 500 млн ампул/месяц).

Заключение

Применение российского асинхронного двигателя с преобразователем частоты, базирующееся не на простой замене компонентов, а на использовании короткозамкнутого ротора и преобразователя частоты, позволяет обеспечить технологическую гибкость перенастройки линии под новую номенклатуру изделий и одновременно снизить операционные затраты практически до нуля за счет исключения регламентных работ по замене щеток и дорогостоящих импортных тахогенераторов, повысить экологичность производства (отсутствие графитовой пыли в чистых зонах), уменьшить себестоимость готового лекарственного препарата и обеспечить стабильное выполнение государственного задания по выпуску жизненно важных лекарственных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мукайдех Е.А., Мукайдех А.Р.А. Импортозамещение медицинских изделий в условиях антироссийских санкций: риски и возможности // Вестник образовательного консорциума «Среднерусский университет». Серия: Экономика и управление. – 2019. – № 14. – С. 128–131.

2. **Киселева Л.Г.** Анализ возможностей импортозамещения аппаратно-технического оборудования для производства лекарств в РФ // Ростовский научный вестник. – 2023. – № 1. – С. 46–47.
3. **Губин М., Портнов В.** Комплексное автоматизированное оборудование для производства жидких стерильных лекарственных препаратов // Ремедиум. – 2004. – № 7–8. – С. 103–107.
4. Конструкция и эксплуатационные характеристики трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором / Б. Гурбанов, Ш. Атаманова, Г. Комекова, М. Мередов // In Situ. – 2025. – № 12. – С. 26–28.
5. **Качалина Е.В., Беспалов В.Я.** Особенности замены двигателей постоянного тока главных механизмов ЭКГ-10 на частотно-регулируемые асинхронные двигатели // Потенциал современной науки. – 2016. – № 9 (26). – С. 8–12.
6. Оценка влияния несимметрии системы питающих напряжений на режимы работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором / И.Ф. Суворов, Д.А. Дейс, В.В. Романова, С.В. Хромов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 3 (51). – С. 222–227.
7. Modeling of induction motors with a frequency converter / M.G. Persova, Yu.G. Soloveitchik, Z.S. Temlyakova, V.V. Grechkin, A.A. Temlyakov // Russian Electrical Engineering. – 2025. – Vol. 96 (7). – P. 532–538. – DOI: 10.3103/S1068371225700701.

IMPORT SUBSTITUTION OF AN EXTRUDER MOTOR FOR AN AUTOMATED ASEPTIC LIQUID FILLING LINE

Temlyakov A.A.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

This paper discusses an engineering solution for replacing the Siemens DC motor (DC) in the extruder drive of a bottlpack automated aseptic filling line (BFS-technology) with a domestically produced squirrel-cage induction motor (ACIM). The relevance of this work stems from the need to ensure the technological sovereignty of pharmaceutical production in the face of sanctions and the lack of direct technical support from the manufacturer. To make a rational decision, the selection of components was justified, and a hardware integration scheme for the new drive with the existing line control system was developed and implemented. The modernization resulted in significant technical and economic benefits, including reduced downtime and increased line productivity. An additional benefit was the elimination of graphite dust from the brush-collector unit, improving the environmental friendliness of production in cleanrooms. The practical significance of this work lies in its role in setting a precedent for the comprehensive modernization of complex pharmaceutical equipment, which can be replicated in similar production facilities.

Keywords: import substitution, BFS-technology, asynchronous motor, frequency converter, extruder, pharmaceutical equipment, technological sovereignty, cleanrooms.

DOI: 10.17212/1727-2769-2026-2-65-70

REFERENCES

1. Mukaydekh E.A., Mukaydekh A.R.A. Importozameshchenie meditsinskikh izdelii v usloviyakh antirossiiskikh sanktsii: riski i vozmozhnosti [Import substitution of medical devices under anti-russian sanctions: risks and opportunities]. *Vestnik obrazovatel'nogo konsortsiума «Srednerusskii universitet». Seriya: Ekonomika i upravlenie*, 2019, no. 14, pp. 128–131. (In Russian).

2. Kiseleva L.G. Analiz vozmozhnostei importozameshcheniya apparatno-tekhnicheskogo oborudovaniya dlya proizvodstva lekarstv v RF [Analysis of the possibilities of import substitution of hardware and technical equipment for the production of medicines in the Russian Federation]. *Rostovskii nauchnyi vestnik = Rostov Scientific Bulletin*, 2023, no. 1, pp. 46–47.
3. Gubin M., Portnov V. Kompleksnoe avtomatizirovannoe oborudovanie dlya proizvodstva zhidkikh steril'nykh lekarstvennykh preparatov [Integrated automated equipment for the production of liquid sterile drugs]. *Remedium*, 2004, no. 7–8, pp. 103–107. (In Russian).
4. Gurbanov B., Atamanova S.H., Komekova G., Meredov M. Konstruktsiya i ekspluatatsionnye kharakteristiki trekhfaznykh asinkhronnykh dvigatelei s korotkozamknutym rotorom [Design and operating characteristics of three-phase asynchronous motors with squirrel-cage rotor]. *In Situ*, 2025, no. 12, pp. 26–28. (In Russian).
5. Kachalina E.V., Bepalov V.Ya. Osobennosti zameny dvigatelei postoyannogo toka glavnykh mekhanizmov EKG-10 na chastotno-reguliruemye asinkhronnye dvigateli [Features of replacement dc motors main machinery ECG 10 to frequency-controlled asynchronous motors]. *Potentsial sovremennoi nauki = Potential of Modern Science*, 2016, no. 9 (26), pp. 8–12.
6. Suvorov I.F., Deys D.A., Romanova V.V., Khromov S.V. Otsenka vliyaniya nesimmetrii sistemy pitayushchikh napryazhenii na rezhimy raboty asinkhronnogo dvigatelya s korotkozamknutym rotorom [The estimation of supply voltage asymmetry system influence on cage asynchronous motor mode]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2016, no. 3 (51), pp. 222–227.
7. Persova M.G., Soloveitchik Y.G., Temlyakova Z.S., Grechkin V.V., Temlyakov A.A. Modeling of induction motors with a frequency converter. *Russian Electrical Engineering*, 2025, vol. 96 (7), pp. 532–538. DOI 10.3103/S1068371225700701.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Темляков Антон Александрович – родился в 1997 году, ассистент кафедры теоретических основ электротехники Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: электромеханические преобразователи энергии. Опубликовано 24 научные работы. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: a.temlyakov@corp.nstu.ru).

Temlyakov Anton Aleksandrovich (b. 1997) – assistant professor, Department of Theoretical Foundations of Electrical Engineering, Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on Electromechanical energy converters. He is author of 24 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: a.temlyakov@corp.nstu.ru).

*Статья поступила 12 апреля 2026 г.
Received April 12, 2026*

To Reference:

Temlyakov A.A. Importozameshchenie dvigatelya ekstrudera avtomatizirovannoi linii asepticheskogo rozliva zhidkostei [Import substitution of an extruder motor for an automated aseptic liquid filling line]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*, 2026, no. 2 (71), pp. 65–70. DOI: 10.17212/1727-2769-2026-2-65-70.