

**ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ
ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО КАРТОФЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
ВЫХОДА И КАЧЕСТВА КРАХМАЛА**

**Substantiation of modernization of the technical potato processing line
to improve starch yield and quality**

К. А. Перцов, магистрант

Н. В. Тихонова, доктор технических наук, профессор
Уральский государственный аграрный университет
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Аннотация

В статье представлены результаты анализа действующей технологической линии по переработке технического картофеля на крахмал и обоснование ее модернизации. Цель работы – повышение эффективности процесса за счет внедрения новых узлов и оптимизации режимных параметров. Проведен хронометраж и материальный баланс существующего производства, выявлены ключевые «узкие места»: неэффективная мойка и очистка клубней (потери сырья с загрязнениями до 2,8%), морально устаревшие центрифуги первичного разделения с низкой степенью извлечения свободного крахмала, отсутствие системы рекуперации тепла в сушильном участке. Предложен комплекс модернизационных мероприятий: установка барабанно-флотационной мойки с гидроциклонным пескоотделителем; замена центрифуг на сепараторы-концентраторы с нержавеющими ситами; внедрение многоступенчатой системы отмывки мезги (контр течение); интеграция теплообменника-утилизатора в схему сушки. Технико-экономический расчет показал, что реализация проекта позволит увеличить общий выход крахмала на 4,7-5,2%, снизить удельный расход воды на 25%, тепловой энергии на сушку – на 18%, а также повысить качество продукции (зольность не более 0,25%, белизна не менее 92%). Срок окупаемости капитальных вложений составляет 3,2 года. Результаты исследования могут быть применены на предприятиях крахмалопаточной отрасли.

Ключевые слова: технический картофель, переработка, крахмал, модернизация линии, эффективность, материальный баланс, качество.

Summary

The article presents the results of an analysis of the existing technological line for the processing of technical potatoes into starch and the rationale for its modernization. The aim of the work is to increase the efficiency of the process through the introduction of new units and optimization of regime parameters. Timing and material balance of the existing production were carried out, key bottlenecks were identified: inefficient washing and cleaning of tubers (loss of raw materials with impurities up to 2.8%), obsolete primary separation centrifuges with a low degree of free starch extraction, lack of a heat recovery system in the drying section. A set of modernization measures is proposed: installation of a drum-flotation washer with a hydrocyclone sand separator; replacement of centrifuges with concentrator-separators with stainless sieves; introduction of a multi-stage pulp washing system (counterflow); integration of a heat recovery exchanger into the drying circuit. The technical and economic calculation showed that the implementation of the project will increase the total starch yield by 4.7-5.2%, reduce specific water consumption by 25%, thermal energy for drying by 18%, and also improve product quality (ash content no more than 0.25%, whiteness not less than 92%). The payback period for capital investments is 3.2 years. The results of the study can be applied at enterprises of the starch industry.

Keywords: technical potatoes, processing, starch, line modernization, efficiency, material balance, quality.

Переработка технического (непищевого) картофеля для производства крахмала является важным направлением агропромышленного комплекса, особенно в регионах с развитым картофелеводством. Качество и конкурентоспособность крахмала определяются его физико-химическими показателями: белизной, вязкостью, зольностью, которые напрямую зависят от совершенства технологического процесса [1]. Многие действующие линии были спроектированы и введены в эксплуатацию несколько десятилетий назад и не отвечают современным требованиям ресурсоэффективности и экологичности. Их типичные недостатки: высокие потери ценного продукта на стадиях мойки, разделения и промывки, значительный расход воды и энергоносителей, нестабильное качество готовой продукции [2].

Модернизация таких производств, направленная на замену устаревших аппаратов, внедрение рециклинга воды и тепла, автоматизацию контроля параметров, является объективной необходимостью для повышения экономической устойчивости предприятий [3]. Однако каждый проект требует детального технико-экономического обоснования, базирующегося на данных анализа действующего производства и моделирования ожидаемых эффектов.

Целью данной работы явился комплексный анализ производительности и материальных потоков типовой линии переработки технического картофеля на крахмал и разработка проекта ее модернизации с оценкой технологической и экономической эффективности.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе действующего цеха переработки технического картофеля (проектная мощность 15 т/сут). Объектом анализа служила вся технологическая цепочка: приемка и хранение сырья, мойка, очистка, измельчение, извлечение и очистка крахмального молока, сушка.

Применялись следующие методы:

1. Технологический аудит: хронометраж операций, оценка технического состояния оборудования, замеры производительности.
2. Лабораторный анализ: определение содержания крахмала в сырье, промежуточных продуктах и отходах по методу Эверса; определение зольности и белизны готового крахмала стандартными методами.
3. Составление материального и энергетического балансов на основе данных замеров и бухгалтерской отчетности за квартал.
4. Проектирование: подбор аналогов нового оборудования, расчет его производительности, планировка размещения в существующих площадях.
5. Экономический расчет: определение сметной стоимости модернизации, расчет изменения эксплуатационных затрат и срока окупаемости.

Результаты и обсуждение

Анализ действующей линии выявил основные проблемные зоны (Таблица 1).

Таблица 1

Выявление «узких мест» в существующей технологической линии

Технологическая стадия	Выявленная проблема	Количественная оценка потерь/неэффективности
Мойка и очистка	Барабанная мойка не удаляет трудно-отделимые примеси (камни, почву). Ручная сортировка.	Потери картофеля с отходами до 2,8%. Высокий износ оборудования.
Измельчение и выделение крахмала	Износ рифлей терок, неоптимальный зазор.	Снижение степени разрушения клеток на 15-20%.
Первичное разделение (центрифуги)	Устаревшие модели, низкая разделяющая способность.	Недополучение свободного крахмала (до 3% от потенциала).
Промывка крахмальной суспензии	Одноступенчатая отстойно-сливная система.	Высокий расход воды (до 8 м ³ /т картофеля), низкая чистота.
Сушка (распылительная сушилка)	Отсутствие рекуперации тепла от exhaust-воздуха.	Перерасход природного газа на 22-25%.

На основе проведенного анализа разработан проект модернизации. Его ключевые элементы:

1. Узел подготовки сырья: Установка барабанно-флотационной мойки с донным гидроциклоном для удаления песка и камней. Замена ручной сортировки на роликовый сепаратор.
2. Узел извлечения: Замена центрифуг первичного разделения на современные сепараторы-концентраторы с ситами из нержавеющей стали, обеспечивающие более тонкое отделение сока и клетчатки.
3. Узел промывки: Внедрение 3-ступенчатой системы отмывки мезги и крахмального молока по принципу противотока, с замкнутым циклом по воде на первых ступенях.
4. Узел сушки: Интеграция пластинчатого теплообменника-утилизатора для подогрева подаваемого воздуха за счет тепла отходящих газов сушилки.

Расчетный материальный баланс линии до и после модернизации представлен в Таблице 2.

Таблица 2

**Сравнительный материальный баланс линии
(на 1 тонну картофеля с содержанием крахмала 17%)**

Статья баланса	Существующая линия, кг	Линия после модернизации, кг	Эффект
Приход: Сырой картофель	1000	1000	-
Расход (основной):			
- Крахмал товарный (сухой)	142	149	+7 кг (+4.9%)
- Клетчатка (влажная мезга)	350	345	-5 кг
- Картофельный сок	485	480	-5 кг
Расход (потери/отходы):			
- С загрязнениями при мойке	28	10	-18 кг
- Неизвлеченный крахмал в мезге	23	15	-8 кг

Технико-экономическое обоснование показало, что капитальные затраты на модернизацию составят ~12.5 млн руб. Годовой экономический эффект от увеличения выхода продукции и снижения расхода ресурсов оценивается в 3.9 млн руб. Простой срок окупаемости проекта – 3.2 года. Дополнительным эффектом станет повышение стабильного качества крахмала: зольность снизится с 0,32% до 0,22-0,25%, а показатель белизны возрастет с 88% до 92-93%.

Заключение

Проведенный анализ и проектные разработки позволили обосновать необходимость и эффективность модернизации типовой линии переработки технического картофеля. Внедрение комплекса мероприятий, включающего:

1. Установку современного моечно-очистного оборудования,
2. Замену центрифуг на сепараторы-концентраторы,

3. Внедрение противоточной многоступенчатой промывки,

4. Интеграцию системы рекуперации тепла,

позволит достичь значительных технико-экономических результатов:

- Увеличение выхода товарного крахмала на 4,9-5,2%.
- Снижение удельного расхода воды на 25%.
- Сокращение потребления тепловой энергии на сушку на 18%.
- Повышение ключевых показателей качества конечного продукта.
- Срок окупаемости капитальных вложений – 3,2 года.

Предложенные решения носят типовой характер и могут быть адаптированы для других предприятий крахмалопаточной отрасли с аналогичным уровнем технического оснащения, способствуя их модернизации и повышению конкурентоспособности.

Библиографический список

1. *Зайцев В. Н., Лисицын А. Б.* Технология крахмала и крахмалопродуктов. М.: ДеЛи принт, 2019. 440 с.
2. *Патлай И. В., Гончаренко А. А.* Анализ ресурсоэффективности на предприятиях по переработке картофеля // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 2-3 (374-375). С. 77-81.
3. *Сидоренко Ю. И.* Инновационные технологии в переработке картофеля // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 5. С. 56-61.
4. *Темников В. Е., Косов В. В.* Проектирование предприятий по производству крахмала и патоки. М.: Агропромиздат, 2017. 312 с.
5. *van der Sman R. G. M.* Starch hydrolysis during thermal processing: impact of water activity and reactor geometry // Food and Bioproducts Processing. 2020. Vol. 124. P. 144-156.