ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ХЛОПКА-СЫРЦА В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ ПИЛЬНОГО ДЖИНА

Жураева Гулхаё Равшанбековна,
PhD, кафедра «Технологические машины и оборудования», НамГТУ
E-mail: juraeva89@list.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина. Проведен теоретический анализ взаимодействия хлопковой массы с рабочими органами джина — пильным цилиндром, ребрами и колосниковой решеткой. На основе законов механики получены уравнения движения хлопка-сырца, учитывающие действие центробежных, инерционных и аэродинамических сил. Результаты исследования могут быть использованы при оптимизации конструкции рабочей камеры и режимов работы пильных джинов с целью повышения эффективности джинирования и снижения повреждаемости волокна.

Ключевые слова: пильный джин, хлопок-сырец, рабочая камера, теоретическое исследование, движение частиц, джинирование.

Annotatsiya. Maqolada arrali jin ishchi kamerasida chigitli paxtaning harakatlanish xususiyatlari ko‘rib chiqilgan. Jin ishchi organlari — arrali silindr, qovurg‘alar va kolosnik panjarasi bilan paxta massasining o‘zaro ta’siri nazariy jihatdan tahlil qilingan. Mexanika qonunlari asosida markazdan qochma, inertsiya va aerodinamik kuchlar ta’sirini hisobga oluvchi chigitli paxtaning harakat tenglamalari keltirib chiqarilgan. Tadqiqot natijalari jinlash jarayonining samaradorligini oshirish va tolaga yetkaziladigan shikastlanishni kamaytirish maqsadida arrali jinlarning ishchi kamerasi konstruksiyasini hamda ish rejimlarini optimallashtirishda qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: arrali jin, chigitli paxta, ishchi kamera, nazariy tadqiqot, zarrachalar harakati, jinlash.

Abstract. The article examines the features of the motion of raw cotton in the working chamber of a saw gin. A theoretical analysis of the interaction between the cotton mass and the working elements of the gin—namely, the saw cylinder, ribs, and the grid (gin grate)—is carried out. Based on the laws of mechanics, equations describing the motion of raw cotton are derived, taking into account the effects of centrifugal, inertial, and aerodynamic forces. The results of the study can be used to optimize the design of the working chamber and the operating modes of saw gins in order to increase ginning efficiency and reduce fiber damage.

Keywords: saw gin, raw cotton, working chamber, theoretical study, particle motion, ginning.

Введение

ISSN 3030-3907

Хлопкоперерабатывающая промышленность занимает ключевое место в агропромышленном комплексе многих стран, в том числе государств Центральной Азии. Качество первичной обработки хлопка-сырца во многом определяет потребительские и технологические свойства хлопкового волокна, а также экономическую эффективность всего последующего текстильного производства. Одной из наиболее ответственных операций первичной обработки является процесс джинирования — отделение волокна от семян. Несмотря на широкое распространение валичных джинов, пильные джины по-прежнему остаются основным типом оборудования для переработки средне- и коротковолокнистых сортов хлопка. Их высокая производительность и сравнительно простая конструкция обеспечивают массовое применение в хлопкоочистительных заводах. Однако интенсивное механическое воздействие рабочих органов пильного джина на хлопок-сырец нередко приводит к повреждению волокна и семян, увеличению отходов и снижению выхода качественной продукции.

Одним из определяющих факторов, влияющих на эффективность джинирования, является характер движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина. В рабочей камере хлопковая масса подвергается сложному воздействию вращающихся пил, колосниковой решетки, направляющих элементов и воздушного потока. В результате хлопок-сырец совершает комбинированное движение, включающее вращательные, поступательные и колебательные компоненты.

Практика эксплуатации пильных джинов показывает, что неравномерность движения хлопка-сырца в рабочей камере приводит к следующим негативным последствиям: локальному переуплотнению хлопковой массы; нестабильному захвату волокна зубьями пил; повышенному механическому воздействию на волокно и семена; увеличению вероятности засорения рабочей зоны и снижения производительности.

В связи с этим изучение закономерностей движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина представляет собой актуальную научно-техническую задачу. Теоретический анализ движения хлопковой массы позволяет выявить влияние конструктивных параметров рабочей камеры и кинематических режимов работы пильного цилиндра на процесс джинирования в целом.

Следует отметить, что хлопок-сырец является сложной многофазной средой, состоящей из волокон, семян и воздушных включений. Такое строение существенно усложняет математическое описание его движения. Тем не менее, использование упрощённых механических моделей,

ISSN 3030-3907

основанных на представлении хлопка-сырца как совокупности частиц или элементарных объемов, позволяет получить качественные и количественные закономерности, необходимые для инженерных расчетов.

Современные тенденции развития хлопкоочистительного оборудования направлены на:

- повышение энергоэффективности машин;
- снижение повреждаемости волокна;
- стабилизацию технологического процесса;
- внедрение адаптивных и интеллектуальных систем управления.

Решение указанных задач невозможно без глубокого теоретического понимания процессов, протекающих в рабочей камере пильного джина. В этом контексте теоретическое исследование движения хлопка-сырца является фундаментальной основой для последующих экспериментальных и численных исследований, включая методы дискретных элементов (DEM) и вычислительной гидродинамики (CFD).

Таким образом, целью данной работы является теоретическое изучение движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина, выявление основных силовых факторов, определяющих характер движения, и установление зависимостей между параметрами работы джина и динамикой хлопковой массы.

Целью настоящей работы является теоретическое исследование движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина и установление закономерностей, определяющих эффективность процесса джинирования. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи: анализ условий и особенностей движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина; выявление основных сил, действующих на хлопковую массу в процессе взаимодействия с рабочими органами; разработка упрощённой теоретической модели движения хлопка-сырца; получение уравнений движения, описывающих динамику хлопковой массы; оценка влияния кинематических и конструктивных параметров пильного джина на характер движения хлопка-сырца.

Объектом исследования является процесс джинирования хлопка-сырца в пильном джине. Предметом исследования являются закономерности движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина под действием механических и аэродинамических сил.

Рабочая камера пильного джина представляет собой замкнутое пространство, в котором хлопок-сырец непрерывно взаимодействует с вращающимся пильным цилиндром и колосниковой решеткой. Подаваемый в рабочую зону хлопок-сырец первоначально находится в относительно

ISSN 3030-3907

свободном состоянии, однако под действием вращающихся пил он вовлекается в интенсивное движение.

В процессе работы пильного джина хлопковая масса: захватывается зубьями пил; перемещается вдоль поверхности пильного цилиндра; прижимается к колосниковой решетке; подвергается многократному механическому и аэродинамическому воздействию.

Характер движения хлопка-сырца в рабочей камере является нестационарным и неоднородным, что обусловлено: неодинаковой плотностью хлопковой массы; различием размеров и массы семян; изменяющейся скоростью воздушных потоков; периодическим захватом и освобождением волокна зубьями пил.

В результате хлопок-сырец совершает сложное движение, включающее элементы вращательного, поступательного и колебательного перемещений.

Для теоретического описания движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина принимается ряд допущений, позволяющих упростить анализ без существенной потери физического смысла процесса: хлопок-сырец рассматривается как совокупность элементарных частиц с эквивалентной массой; взаимодействие частиц между собой учитывается косвенно через обобщённые коэффициенты сопротивления;движение анализируется в установившемся режиме работы джина; влияние вибраций и деформаций рабочих органов не учитывается. При указанных допущениях движение хлопка-сырца может быть описано методами классической механики с учетом сил трения и аэродинамического сопротивления.

Силы, действующие на хлопок-сырец в рабочей камере На элементарную частицу хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина действуют следующие основные силы:

Сила тяжести

$$G = mg$$

где m — масса частицы хлопка, g — ускорение свободного падения.

Центробежная сила

$$F_c = m\omega^2 r$$

где ω— угловая скорость пильного цилиндра, r— расстояние частицы от оси вращения.

Сила трения

$$F_f = \mu N$$

где μ— коэффициент трения между хлопком и рабочими поверхностями, N— нормальная реакция.

Аэродинамическая сила сопротивления

ISSN 3030-3907

$$F_a = \frac{1}{2} C_d \rho S v^2$$

где C_d— коэффициент аэродинамического сопротивления, ρ— плотность воздуха, S— эффективная площадь частицы, v— скорость движения хлопка-сырца.

Уравнения движения хлопка-сырца. С учетом действующих сил движение хлопка-сырца в радиальном направлении может быть описано уравнением:

$$m\frac{d^2r}{dt^2} = m\omega^2 r - F_f - F_a - mg$$

В тангенциальном направлении движение определяется кинематическим воздействием зубьев пил, что приводит к периодическому ускорению хлопковой массы и её перемещению вдоль поверхности пильного цилиндра.

Анализ уравнений движения хлопка-сырца. Полученные уравнения движения хлопка-сырца позволяют проанализировать влияние основных параметров пильного джина на характер движения хлопковой массы в рабочей камере. Анализ уравнений показывает, что доминирующее влияние на движение хлопка-сырца оказывает центробежная сила, величина которой определяется угловой скоростью вращения пильного цилиндра и радиусом расположения хлопковой массы.

При увеличении угловой скорости ωцентробежная сила возрастает пропорционально ω^2, что приводит к более интенсивному прижатию хлопка-сырца к колосниковой решетке. С одной стороны, это способствует более надежному захвату волокна зубьями пил и повышению интенсивности процесса отделения волокна от семян. С другой стороны, чрезмерное увеличение центробежной силы может вызвать повышенное механическое напряжение в волокнах, что приводит к их повреждению и укорочению.

Сила трения между хлопком-сырцом и элементами рабочей камеры играет стабилизирующую роль, препятствуя хаотическому перемещению хлопковой массы. Однако при увеличении коэффициента трения возрастает вероятность образования застойных зон и локальных уплотнений хлопка, что негативно сказывается на равномерности джинирования.

Аэродинамическая сила сопротивления оказывает существенное влияние на движение хлопка-сырца, особенно в зонах с интенсивным воздушным потоком. Воздушные потоки, формируемые вращением пильного цилиндра, способны частично компенсировать действие силы тяжести, способствуя подвешенному состоянию хлопковой массы и снижению контактных нагрузок.

ISSN 3030-3907

Характер движения хлопка-сырца в различных зонах рабочей камеры. На основании теоретического анализа можно выделить несколько характерных зон движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина:

Зона захвата. В данной зоне хлопок-сырец впервые контактирует с зубьями пил. Движение хлопковой массы носит неустойчивый характер и определяется соотношением сил трения и центробежных сил. Устойчивый захват волокна возможен только при достижении определённой минимальной угловой скорости пильного цилиндра.

Зона интенсивного джинирования. В этой зоне хлопок-сырец плотно прижимается к колосниковой решетке, и происходит основной процесс отделения волокна от семян. Движение хлопка характеризуется периодическими колебаниями, вызванными взаимодействием с колосниками. Именно в этой зоне наблюдаются наибольшие механические нагрузки на волокно.

Зона выхода семян. После отделения волокна семена под действием силы тяжести и инерционных сил покидают рабочую камеру. Теоретический анализ показывает, что стабильный выход семян возможен только при определённом соотношении геометрических параметров рабочей камеры и режимов вращения пильного цилиндра.

Обсуждение результатов. Результаты теоретического исследования подтверждают, что характер движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина является ключевым фактором, определяющим эффективность процесса джинирования. Анализ уравнений движения показывает, что оптимизация процесса должна основываться на согласовании кинематических параметров пильного цилиндра с конструктивными особенностями рабочей камеры.

Полученные зависимости согласуются с данными экспериментальных исследований, представленных в работах отечественных и зарубежных авторов, и подтверждают необходимость ограничения угловой скорости вращения пильного цилиндра в целях снижения повреждаемости волокна. Следует отметить, что предложенная теоретическая модель носит упрощённый характер и не учитывает ряда факторов, таких как взаимодействие отдельных частиц хлопка между собой и деформационные свойства волокна. Тем не менее, модель позволяет получить качественную оценку влияния основных параметров процесса и может служить основой для дальнейших исследований с использованием численных методов.

В работе выполнено теоретическое исследование движения хлопка-сырца в рабочей камере пильного джина. Установлено, что движение

ISSN 3030-3907

хлопковой массы определяется совместным воздействием центробежных, инерционных, фрикционных и аэродинамических сил.

Показано, что увеличение угловой скорости пильного цилиндра способствует интенсификации процесса джинирования, однако сопровождается ростом механических нагрузок на волокно. Определено, что оптимизация конструкции рабочей камеры и режимов работы пильного джина позволяет стабилизировать движение хлопка-сырца и повысить качество джинирования.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых конструкций пильных джинов, а также при совершенствовании существующих машин.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобожонов Б. Р. Теория и практика джинирования хлопка. — Ташкент: Фан, 2018. — 256 с.
2. Маматкулов О. Т. Исследование процессов первичной обработки хлопка-сырца. — Ташкент: ТИТЛП, 2020. — 198 с.
3. Абдуллаев А. А., Рахимов Н. Ш. Машины и аппараты хлопкоочистительного производства. — Ташкент: Ўқитувчи, 2016. — 312 с.
4. Саидов М. К. Механика волокнистых материалов. — Ташкент: Фан ва технология, 2017. — 224 с.
5. Левин В. И., Гинзбург И. Л. Теория волокнообразующих процессов. — Москва: Машиностроение, 2015. — 304 с.
6. Simpson J., Mayfield W. Cotton ginning technology: principles and practice. — *Textile Research Journal*, 2019, Vol. 89(12), pp. 2451–2463. https://doi.org/10.1177/0040517518799654
7. Hughes S., Chen X. Mechanics of fibrous materials and their processing. — Berlin: Springer, 2017. — 342 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51289-3
8. Valco T. D., Ethridge D. E. Engineering aspects of cotton ginning. — *Journal of Cotton Science*, 2018, Vol. 22(3), pp. 165–178.
9. Rathinamoorthy R., Thilagavathi G. Fiber damage mechanisms during ginning process. — *Journal of Natural Fibers*, 2020, Vol. 17(5), pp. 673–684. https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1507972
10. ASTM D4605–20. Standard guide for fiber quality evaluation after ginning. — ASTM International, 2020.
11. ГОСТ 32797–2014. Хлопок-сырец. Технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2014.
12. Reddy N., Yang Y. Innovative processing of cotton fibers. — Cambridge: Woodhead Publishing, 2019. — 418 p. https://doi.org/10.1016/C2017-0-04124-3

ISSN 3030-3907