

УДК 631.363.2

МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДВУХСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА

Н.А. Воробьев,

проректор по учебной работе и производству БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

С.А. Дрозд,

ст. преподаватель каф. стандартизации и метрологии БГАТУ

В статье приводится методика инженерного расчета параметров и режимов работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна.

Ключевые слова: методика инженерного расчета, двухстадийное измельчение, вальцовый измельчитель, молотковый измельчитель, измельчение зерна.

The article provides an engineering calculation methodology for determining the parameters and operating modes of equipment for two-stage grinding of grain.

Keywords: engineering calculation technique, two-stage grinding, roller shredder, hammer shredder, grain grinding.

Введение

На протяжении последних лет в Республике Беларусь ежегодно собирается около 8,0 млн тонн зерна, из них около 3 млн тонн идут на кормовые цели, в том числе для производства комбикормов [1].

Применяемые при производстве комбикормов технические средства для измельчения зерна имеют высокие удельные энергозатраты [2]. Данный недостаток может быть решен путем применения новых способов измельчения, одним из которых является комбинированное воздействие на зерно различными рабочими органами. Исследуемый способ измельчения зерна [3] предполагает разрушение зерна за две стадии: первая – деформация зерна вальцами сжатием и сдвигом до величины, исключающей компрессионное сжатие; вторая – разрушение зерна ударами молотков. При этом на второй стадии измельчения применяется молотковый измельчитель с вертикальной осью вращения [4].

Одно из преимуществ данного способа заключается в том, что его можно применить как при разработке и создании нового оборудования для измельчения зерна, так и при использовании вальцовых и молотковых измельчителей из существующего парка машин Республики Беларусь. Однако рекомендации по подбору и проектированию оборудования для двухстадийного измельчения зерна отсутствуют.

Цель исследования – разработка методики инженерного расчета, позволяющей по заданным показателям качества и производительности определить необходимые параметры и режимы работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна.

Основная часть

Основными показателями процесса измельчения зерна являются: производительность, качество измельчения и удельные энергозатраты [5]. Повышение эффективности процесса измельчения зерна происходит при увеличении производительности, повышении качества измельчения и при снижении удельных энергозатрат. При этом для определения параметров и режимов работы оборудования необходимо решить компромиссную задачу – выбрать параметры и режимы работы машины, обеспечивающие требуемое качество с наименьшими удельными энергозатратами.

При двухстадийном измельчении зерна данная задача является еще более сложной, так как ее необходимо решить с учетом симбиоза вальцового и молоткового измельчителя зерна.

Качество измельчения зерна определяется в соответствии с ТКП 273 – 2010 [6], через показатель качества измельчения (K), который рассчитывается как отношение массы зерна требуемой фракции и общей массы пробы. Для каждого вида животного оптимальна определенная фракция измельчения: например, для свиней 0,1 – 2,0 мм; для сельскохозяйственной птицы в возрасте до 17 недель – 1,0 – 3,0 [7].

Для определения производительности первой стадии измельчения использована уточненная формула производительности вальцового измельчителя [8]:

$$Q_{cm1} = b \cdot L \cdot v_{np} \cdot \rho \cdot j, \quad (1)$$

где b – зазор между вальцами, м;

L – длина вальцов, м;

v_{np} – скорость прохождения измельченного продукта, м/с (выбирается из диапазона 6 – 14 м/с в зависимости от межвальцового зазора: при $b = 0,5$ мм – $v_{np} = 14$ м/с; при 1,0 – 12 м/с; при 1,5 – 10 м/с; при 2,0 – 8 м/с; при 2,5 – 6 м/с [9]);

ρ – объемная масса измельчаемого продукта, кг/м³ (выбирается в зависимости от вида зерна: для ячменя – 650 кг/м³; для тритикале – 620 кг/м³; для ржи – 730 кг/м³; для пшеницы 760 кг/м³; для овса – 450 кг/м³ [10]);

j – коэффициент полезного использования зоны измельчения (выбирается из диапазона $j = 0,8 - 0,9$) [8].

Для определения производительности второй стадии измельчения использована уточненная формула производительности молоткового измельчителя [8]:

$$Q_{cm2} = \frac{f_1 \cdot d_{om} \cdot \rho \cdot D \cdot h_m \cdot v_m}{\pi}, \quad (2)$$

где f_1 – коэффициент, определяемый опытным путем, м⁻¹ (значение выбирается из номограммы), (рис. 1, четверть I);

d_{om} – диаметр отверстий в решетке, м;

ρ – объемная масса измельчаемого продукта, кг/м³ (выбирается в зависимости от вида зерна: для ячменя – 650 кг/м³; для тритикале – 620 кг/м³; для ржи – 730 кг/м³; для пшеницы 760 кг/м³; для овса – 450 кг/м³ [10]);

D – диаметр молоткового ротора, м;

h_m – высота пакета молотков, м (выбираем из диапазона 0,07 – 0,15 м [11]);

v_m – окружная скорость на концах молотков, м/с (рекомендуемое значение для молоткового измельчителя находится в диапазоне 70–100 м/с, однако так как на вторую ступень измельчения поступает зерно со сниженной прочностью, принимаем значение окружной скорости 70 м/с, что в свою очередь снижает переизмельчение зерна, тем самым повышая качество измельчения [12].

При определении производительности должно обеспечиваться условие, по которому производительность второй стадии измельчения должна быть больше либо равна производительности первой стадии измельчения:

$$Q_{cm1} \leq Q_{cm2}, \quad (3)$$

где Q_{cm1} – производительность первой стадии измельчения, кг/с;

Q_{cm2} – производительность второй стадии измельчения, кг/с.

Суммарная мощность приводов оборудования для осуществления процесса двухстадийного измельчения складывается из суммарной мощности первой и второй стадии измельчения:

$$N = N_{cm1} + N_{cm2}, \quad (4)$$

где N_{cm1} – мощность привода первой стадии измельчения, Вт·с;

N_{cm2} – мощность привода второй стадии измельчения, Вт·с.

Для определения мощности привода первой стадии измельчения использована уточненная формула мощности привода вальцов [8]:

$$N_{cm1} = b \cdot L \cdot v_{np} \cdot \rho \cdot j \cdot w_1, \quad (5)$$

где w_1 – коэффициент, определяемый опытным путем м²с⁻² (значение выбирается из номограммы, рис. 1, четверть I).

Для определения мощности привода второй стадии измельчения использована уточненная формула мощности привода молоткового ротора [9]:

$$N_{cm2} = \frac{f_1 \cdot d_{om} \cdot \rho \cdot D \cdot h_m \cdot v_m \cdot w_2}{\pi}, \quad (6)$$

где w_2 – определяемый опытным путем, м²с⁻² (значение выбирается из номограммы, рис. 1, четверть I).

На основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований, в которые входят вышеприведенные формулы, построена номограмма (рис. 1), которая позволяет определить параметры и режимы работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна.

В номограмме представлены функциональные показатели измельчения зерна, в соответствии с ТКП 281-2010 [13]: мощность (N), удельные энергозатраты (q) и ТКП 273-2010 [6]: производительность (Q), степень измельчения (λ), средневзвешенный размер частиц (L_s), однородность измельченного продукта (V), а также межвальцовый зазор (b), диаметр отверстий в решетке (d), длина вальцов (L), диаметр молоткового ротора (D).

Алгоритм работы с номограммой представлен на рисунке 1 и заключается в следующем. В четверти IV задается необходимое значение показателя качества измельчения по оси ординат и ведется горизонтальная линия до пересечения с зависимостью показателя качества от межвальцового зазора при различном диаметре отверстий в решетке. При этом выбранный показатель качества может обеспечить различные значения межвальцового зазора и диаметра отверстий в решетке. Для выбора значений данных параметров в четверти IV предпочтительно выбирать наибольшее значение диаметра отверстия в решетке, тем самым обеспечивается наибольшая производительность и наименьшие удельные энергозатраты, что можно видеть из четвертей III и VI соответственно. Для примера в четверти IV зададим необходимый показатель качества $K = 90\%$ и определим параметры, которые его обеспечивают: диаметр отверстия $d = 4,0$ мм и межвальцовый зазор $b = 0,7$ мм.

По определенным параметрам межвальцового зазора диаметра отверстия в решетке по четверти I определим ряд коэффициентов, необходимых для расчета производительности второй стадии измельчения f_1 , мощности привода первой стадии измельчения w_1 и мощности привода второй стадии измельчения w_2 . Для примера в четверти I выбраны следующие значения коэффициентов: $f_1 = 0,51$ м⁻¹; $w_1 = 2,1$ м²с⁻²; $w_2 = 4,5$ м²с⁻².

Затем в четверти III зададим необходимое значение производительности второй стадии измельчения, на которую оказывает влияние диаметр молоткового ротора, определяемый по формуле:

$$D = \frac{\pi \cdot Q_{cm2}}{f_1 \cdot d_{om} \cdot \rho \cdot h_m \cdot v_m}, \quad (7)$$

где Q_{cm2} – производительность второй стадии измельчения, кг/с.

В соответствии с заданной производительностью и ранее заданным показателем качества в четверти III,

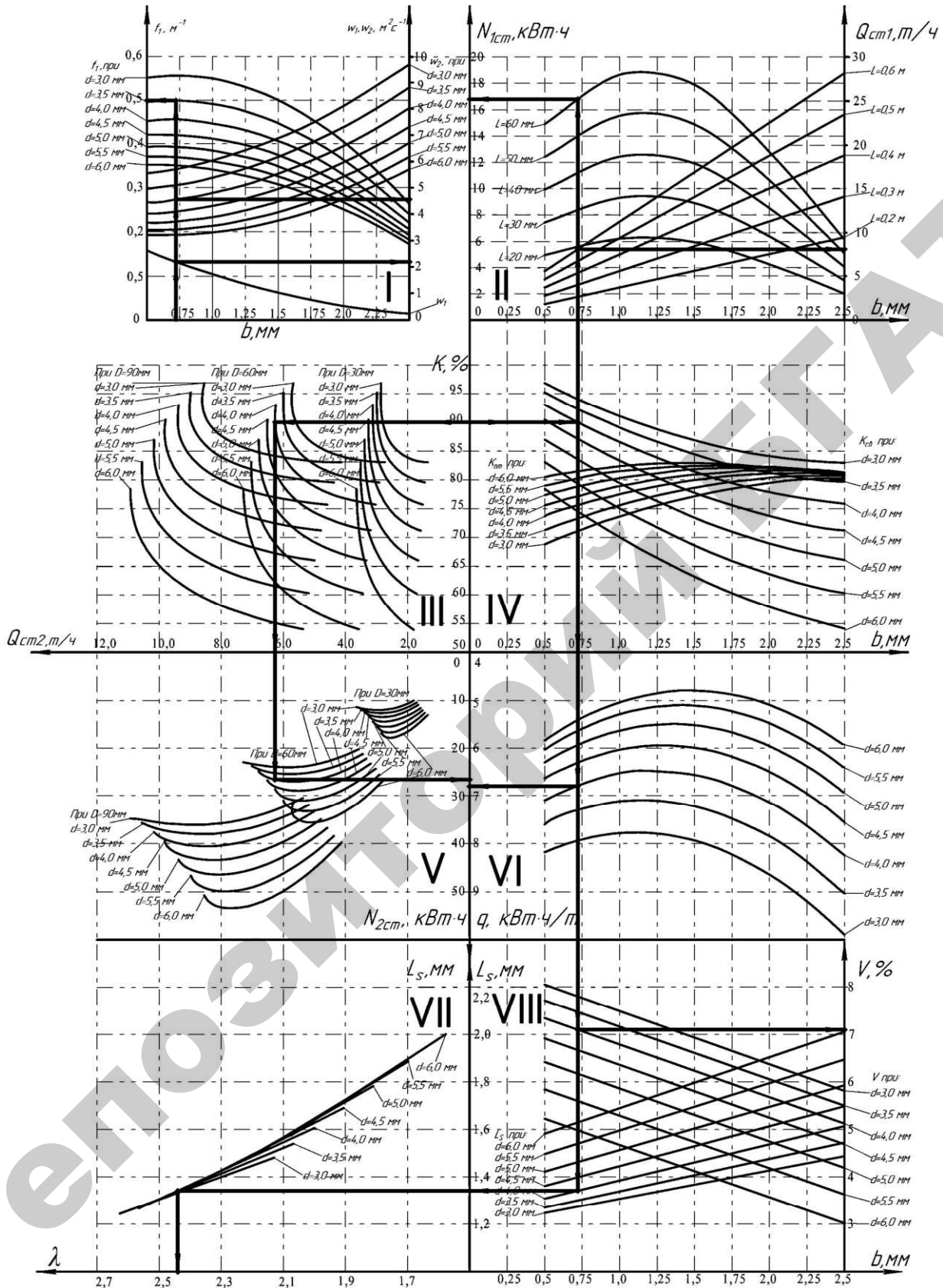


Рисунок 1. Номограмма для определения параметров и режимов работы оборудования для двухстадийного измельчения зерна

определяем значение диаметра молоткового ротора. Например, зададим производительность не менее 5 т/ч и определим значение диаметра молоткового ротора, которое ее обеспечивает $D = 0,6$ м. При этом производительность $Q_{cm2} = 6,2$ т/ч.

Опустив вертикальную линию с четверти III в четверть V, определим необходимую мощность привода второй стадии измельчения, для обеспечения ранее заданного показателя качества и производительности. Например, для ранее заданных условий $N_{cm2} = 27$ кВт·ч.

Затем вернемся в четверть IV и из точки пересечения, ранее выбранных значений межвальцового зазора и диаметра отверстия в решетке, проведем вертикальную линию вверх в четверть II, в которой определим значение длины вальцов, которая обеспечит ранее заданную производительность, определяемую по формуле:

$$L = \frac{Q_{cm1}}{b \cdot \rho \cdot v_{np} \cdot j}, \quad (8)$$

где Q_{cm1} – производительность первой стадии измельчения, кг/с.

В соответствии с заданной производительностью и ранее определенным параметром межвальцового зазора в четверти II, определим значение длины вальцов. Например, для ранее заданных условий $L = 0,4$ м, что обеспечивает производительность первой стадии измельчения $Q_{cm1} = 5,4$ т/ч.

Проведя вертикаль дальше вверх до пересечения с зависимостью мощности первой стадии измельчения от межвальцового зазора при ранее выбранном значении длины вальцов, определим необходимую мощность привода первой стадии измельчения. Например, для ранее заданных условий $N_{cm1} = 11,2$ кВт·ч.

Затем снова возвращаемся в четверть IV и из точки пересечения ранее выбранных значений межвальцового зазора и диаметра отверстия в решетке проведем вертикальную линию вниз в четверть VI, в которой определим значение удельных энергозатрат на процесс двухстадийного измельчения. Например, для ранее заданных условий $q = 6,8$ кВт·ч/т.

Опустив вертикаль в четверть VIII, определим значения однородности продукта (в котором от 0 до 10 % продукт является однородным) и средневзвешенного размера частиц. Например, для ранее заданных условий $V = 7,1$ % и $L_s = 1,35$ мм.

По полученному значению средневзвешенного размера частиц в четверти VII определим степень измельчения зерна путем проведения горизонтальной линии из четверти VIII. Например, для ранее заданных условий $\lambda = 2,44$.

Также при работе с номограммой вместо показателя качества измельчения можно задать другой функциональный показатель процесса измельчения, например, средневзвешенный размер частиц, и определить параметры и режимы работы оборудования, позволяющие его обеспечить.

Заключение

Разработана и представлена в виде номограммы методика инженерного расчета, которая позволяет:

- выбрать необходимый показатель качества измельчения и задать производительность процесса двухстадийного измельчения зерна;

- определить основные параметры процесса двухстадийного измельчения зерна: межвальцовый зазор, длину вальцов, скорость прохождения измельченного продукта на первой стадии измельчения, диаметр отверстий в решетке, диаметр молоткового ротора, высоту пакета молотков, окружную скорость на концах молотков, мощность привода первой и второй стадии;

- определить функциональные показатели процесса измельчения зерна: скорость, удельные энергозатраты, степень измельчения, средневзвешенный размер частиц, однородность измельчения.

Разработанная методика также позволяет определить параметры и режимы работы двухстадийного измельчения зерна, как при разработке и создании нового оборудования для измельчения зерна, так и при использовании вальцовых и молотковых измельчителей из существующего парка машин Республики Беларусь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / И.В. Медведова [и др.]. – Минск: Национальный стат. комитет Республики Беларусь, 2019 – 229 с.
2. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства: монография / И.Н. Шило, В.Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – 183 с.
3. Воробьев, Н.А. Исследование способа двухстадийного измельчения зерна / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 144-146.
4. Анализ исследований в области двухстадийного измельчения зернофуража / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 65-68.
5. Дашков, В.Н. Совершенствование технических средств для измельчения фуражного зерна / В.Н. Дашков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 23-28.
6. Сельскохозяйственная техника. Машины и оборудование для приготовления кормов. Порядок определения функциональных показателей: ТКП 273-2010. – Введ. 01.06.2011. – Минск: БелГИСС, 2011. – 48 с.
7. Воробьев, Н.А. Анализ зоотехнических требований к качеству измельчения зерна на кормовые цели / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 267-268.

8. Демский, А.Б. Оборудование для производства муки и крупы: справочник / А.Б. Демский, М.А. Борискин, Е.В. Тамаров, А.С. Чернолихов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.

9. Андрианов, А.М. Исследование рабочего процесса валковой зерноплющилки: автореф.... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.М. Андрианов. – Воронеж, 1974. – С. 19.

10. Зверев, С.В. Физические свойства зерна и продуктов его переработки / С.В. Зверев, Н.С. Зверева. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 176 с.

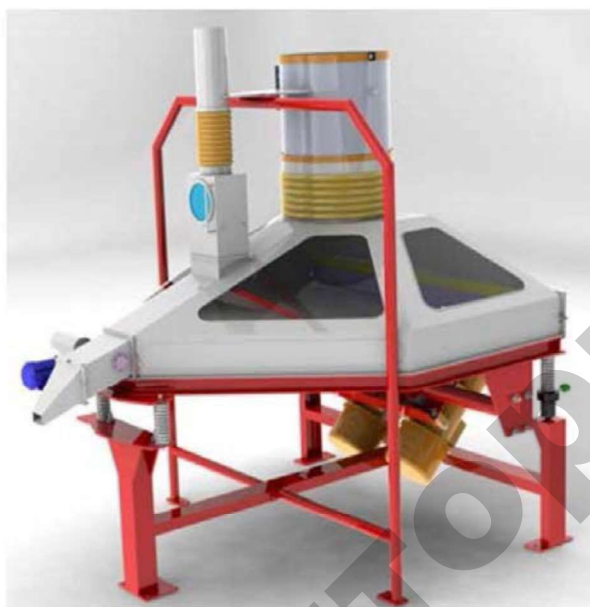
11. Шуб, Г.И. Исследование технологического процесса измельчения сырья комбикормового производства на молотковой дробилке: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Г.И. Шуб. – М., 1966. – 218 с.

12. Мельников, С. В. Экспериментальные основы теории процесса измельчения кормов на фермах молотковыми дробилками: автореф.... дис. докт. техн. наук: 05.20.01 / С.В. Мельников. – Л., 1969. – С. 60.

13. Сельскохозяйственная техника. Порядок определения показателей энергетической оценки: ТКП 281-2010. – Введ. 01.06.2011 / БелГИСС, 2011. – 16 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 07.02.2020

Сепаратор вибропневматический



пластин, снижающих потери годного зерна с отходами.

Предназначен для очистки зерновой массы от трудноотделимых примесей на зерноперерабатывающих предприятиях, элеваторах, комбикормовых заводах. Также может быть использован для подготовки семенного материала с целью предотвращения заражения спорыньей зерна будущего урожая на семенных станциях и в фермерских хозяйствах.

Применение в технологических линиях очистки зерна разработанного сепаратора позволит повысить эффективность очистки зерна от трудноотделимых примесей за счет системы периодического вывода фракции примесей, а также комплекта отражающих и отбойных

Основные технические данные

Производительность, т/ч до	6
Коэффициент очистки, % до	95
Площадь ситовой поверхности, м ²	3,16
Диапазон регулировки угла наклона деки, град	2-8
Амплитуда колебаний, мм	2,5-3
Расход воздуха, м ³ /ч	10000
Установленная мощность привода, кВт	2×0,18
Диапазон регулировки частоты вращения электровибраторов, мин ⁻¹	800-1650
Разрежение в рабочей камере, Па	500-700
Габаритные размеры, мм (д ш в)	2240 2100 1960
Масса сепаратора, кг, не более	510