

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **035694**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.07.27**

(51) Int. Cl. **C10L 9/00** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201990608**

(22) Дата подачи заявки  
**2017.08.22**

---

(54) **СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ  
ОБРАБОТКЕ БИОМАССЫ**

---

(31) **16187062.1**

(32) **2016.09.02**

(33) **EP**

(43) **2019.08.30**

(86) **PCT/EP2017/071165**

(87) **WO 2018/041679 2018.03.08**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**КЛАРИАНТ ИНТЕРНЭШНЛ ЛТД  
(CN)**

(72) Изобретатель:  
**Хюнлайн Бьёрн, Хоппе Томас, Хорч  
Ральф (DE)**

(74) Представитель:  
**Фелицына С.Б. (RU)**

(56) DAVID CHIARAMONTI ET AL.: "Review of pretreatment processes for lignocellulosic ethanol production, and development of an innovative method", BIOMASS AND BIOENERGY, vol. 46, 1 November 2012 (2012-11-01), pages 25-35, XP055126049, ISSN: 0961-9534, DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.04.020, cited in the application, the whole document  
EP-A1-3045234

DEVENDRA PRASAD MAURYA ET AL.: "An overview of key pretreatment processes for biological conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol", 3 BIOTECH, vol. 5, no. 5, 3 February 2015 (2015-02-03), pages 597-609, XP055329953, DE, ISSN: 2190-572X, DOI: 10.1007/s13205-015-0279-4, the whole document

---

(57) Изобретение относится к способу снижения потребления энергии при предварительной обработке биомассы.

---

**035694 B1**

**035694 B1**

Настоящее изобретение относится к способу снижения потребления энергии при предварительной обработке биомассы.

Многие виды органической биомассы претерпевают сложные процессы предварительной обработки с целью обеспечения возможности полного использования её компонентов. Традиционные процессы предварительной обработки биомассы включают в себя использование пара для разрушения структуры органического материала. Эффективным способом предварительной обработки, очень часто применяемым, например, в отношении лигноцеллюлозной биомассы, является паровой взрыв. В условиях предварительной обработки указанного типа требуются большие количества пара для повышения давления в области биомассы до определённого избыточного давления перед началом самопроизвольного расширения, приводящего к разрушению волокон. Следовательно, необходимы значительные энергетические затраты, что делает многие процессы предварительной обработки нерентабельными для вариантов применения в промышленном масштабе.

Такой процесс известен, например, из обзора Chiamonti D. et al., Review of pretreatment processes for lignocellulosic ethanol production, and development of an innovative method. Biomass and Bioenergy, 2012, 46:25-35.

Авторы настоящего изобретения неожиданно обнаружили, что потребление пара в ходе такого процесса предварительной обработки можно минимизировать путём оптимизации обработки сырья в ходе процесса.

С учётом вышесказанного авторы настоящего изобретения предлагают способ снижения потребления энергии при предварительной обработке биомассы, отличающийся тем, что параметр обработки сырья, FPP, выбран в пределах диапазона от 1,50 до 7,00  $\frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ .

Параметр обработки сырья определяют следующим образом:

$$FPP = \frac{1}{\left( PRP \left( \frac{\text{ч}}{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}} \right) \times \text{площадь выходного отверстия (мм}^2\text{)} \right)} \times 100$$

Таким образом, оптимизацию обработки сырья осуществляют путём подбора площади выходного отверстия реактора, заключающего в себе биомассу под давлением, в соответствии с конкретным параметром стойкости биомассы при предварительной обработке. Стойкость при предварительной обработке зависит от содержания лигнина и ксилозы, а также содержания влаги и скорости массопереноса соответствующей биомассы.

"Параметр обработки сырья", FPP, также может называться "параметром переработки биомассы" или "параметром перехода биомассы". Следует считать, что все три термина употребляются в качестве синонимов. В связи с этим параметр стойкости при предварительной обработке, PRP, определяется следующим образом:

$$PRP = \frac{\text{лигнин (мас.\%)}}{(\text{ксилоза(мас.\%)}) \times \sqrt{\text{влага(мас.\%)}} \times \dot{m} \left( \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right)} \times 1000$$

С учётом вышесказанного авторы настоящего изобретения неожиданно обнаружили, что стойкость при предварительной обработке определённого источника сырья зависит от конкретного отношения содержания лигнина к содержанию ксилозы, содержания влаги и скорости массопереноса. Скорость массопереноса обычно predeterminedена соответствующей системой предварительной обработки, а также размерами реактора и трубопровода.

После определения PRP оптимальное и наиболее энергетически эффективное потребление пара будет определяться путём доведения площади выходного отверстия, например реактора предварительной обработки методом парового взрыва, до значения, соответствующего PRP согласно способу по изобретению. В пределах настоящего изобретения предпочтительной является предварительная обработка методом парового взрыва.

В рамках предпочтительного варианта осуществления FPP выбирают в пределах диапазона от 2,00 до 4,50  $\frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ , предпочтительно от 2,50 до 4,00  $\frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ , особенно предпочтительно от 2,25 до 3,90  $\frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ , при этом также предпочтительны диапазоны от 2,25 до 3,80  $\frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$  и от 2,25 до 3,75  $\frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ . В связи с этим осуществление выбора FPP в пределах диапазона от 2,5 до 4,0  $\frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$  особенно предпочтительно, так как достигается максимальная экономия пара, при этом одновременно общие условия процесса оказываются наиболее эффективными, с низким риском закупоривания и с экономически благоприятной массовой скоростью потока.

В рамках дополнительного предпочтительного варианта осуществления биомасса представляет собой лигноцеллюлозную биомассу. Лигноцеллюлозная биомасса включает в себя (но не ограничивается этим) растительный материал, такой как пшеничная солома, ячменная солома, рисовая солома, древеси-

на, древесные щепки, отходы лесопильного завода и бумажной фабрики, кукурузный стебель, жмых сахарного тростника и другие сельскохозяйственные остатки, целевые энергетические сельскохозяйственные культуры, муниципальные бумажные отходы и любой другой материал биомассы, содержащий целлюлозу, гемицеллюлозу, ксилозу и лигнин. Материал биомассы предпочтительно имеет содержание сухого вещества (СВ) от 30 до 95 мас.%, более предпочтительно от 40 до 90 мас.%, а также предпочтительно от 50 до 85 мас.%.

В рамках предпочтительного варианта осуществления параметр  $\frac{PRP}{\dot{c}}$  выбирают из диапазона от 0,002 до  $1,000 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ , предпочтительно от 0,003 до  $0,800 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ , более предпочтительно от 0,004 до  $0,550 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ , тогда как диапазоны от 0,003 до  $0,010 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  и от 0,004 до  $0,009 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ , а также от  $0,250 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  до  $0,850 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  и от  $0,300 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  до  $0,750 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  также являются предпочтительными. Диапазоны от  $0,250 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  до  $0,850 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  и от  $0,300 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  до  $0,750 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  являются предпочтительными для малых производственных объектов и так называемых пилотных установок со скоростью массопереноса, выбранной из диапазона от 50 кг/ч до 5 т/ч. Диапазоны от 0,003 до  $0,010 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  и от 0,004 до  $0,009 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$  являются предпочтительными для крупных производственных объектов со скоростью массопереноса, выбранной из диапазона от значения больше 5 т/ч до 100 т/ч.

В рамках дополнительного предпочтительного варианта осуществления содержание влаги в биомассе предпочтительно составляет от 5 до 60 мас.%, предпочтительно от 8 до 55 мас.%, а наиболее предпочтительно от 10 до 50 мас.%, тогда как диапазоны от 10 до 25 мас.% и от 30 до 60 мас.% также являются предпочтительными.

В рамках дополнительного предпочтительного варианта осуществления содержание ксилозы в биомассе выбрано в пределах диапазона от 10,0 до 30,0 мас.%, предпочтительно от 17,0 до 27,0 мас.%, особенно предпочтительно от 20,0 до 25,0 мас.%, тогда как диапазоны от 17,0 до 24,0 мас.% и от 18,0 до 23,0 мас.% тоже являются предпочтительными.

В рамках дополнительного предпочтительного варианта осуществления давление пара выбрано в пределах диапазона от 8,0 до 15,0 бар, предпочтительно от 8,5 до 12,5, а наиболее предпочтительно от 9,0 до 12,0 бар.

В рамках дополнительного предпочтительного варианта осуществления температура в течение предварительной обработки предпочтительно выбрана в пределах диапазона от 150 до 200°C, предпочтительно от 160 до 190°C, а наиболее предпочтительно от 165 до 185°C.

В рамках дополнительного предпочтительного варианта осуществления массовая скорость потока,  $m$ , выбрана из диапазона от 50 до 100000 кг/ч, предпочтительно от 100 до 50000 кг/ч, более предпочтительно от 250 до 35000 кг/ч, а наиболее предпочтительно от 400 до 25000 кг/ч. Диапазоны от 50 до 5000 кг/ч и от 250 до 1000 кг/ч являются предпочтительными для малых производственных объектов и так называемых пилотных установок. Диапазоны от 5000 до 50000 кг/ч и от 10000 до 25000 кг/ч являются предпочтительными для крупных так называемых производственных объектов промышленного масштаба.

В рамках дополнительного предпочтительного варианта осуществления предварительную обработку биомассы осуществляют в течение периода времени, выбранного из диапазона от 1 до 20 мин, предпочтительно от 5 до 15 мин, а наиболее предпочтительно от 8 до 10 мин.

В пределах настоящего описания "площадь выходного отверстия" (ОА) описывается как площадь (измеряемая в мм<sup>2</sup>), изображённая на фиг. 1 (позиция (1)). Таким образом, "площадь выходного отверстия" согласно настоящему изобретению образует участок, где биомасса, находящаяся под давлением, покидает реактор, и измеряется данная площадь на внешней стенке реактора (также см. фиг. 1).

В рамках предпочтительного варианта осуществления площадь выходного отверстия выбрана из диапазона от 10 до 17 000 мм<sup>2</sup>, предпочтительно от 30 до 10000 мм<sup>2</sup>, ещё предпочтительнее от 50 до 6700 мм<sup>2</sup>, особенно предпочтительно от 55 до 5500 мм<sup>2</sup>, также особенно предпочтительно от 60 до 4750 мм<sup>2</sup> и от 63 до 4500 мм<sup>2</sup>. При этом диапазоны от 55 до 90 мм<sup>2</sup> и от 60 до 75 мм<sup>2</sup>, а также от 3000 до 17000 мм<sup>2</sup> и от 4000 до 6300 мм<sup>2</sup> также являются предпочтительными. Диапазоны от 55 до 90 мм<sup>2</sup> и от 60 до 75 мм<sup>2</sup> являются предпочтительными для малых производственных объектов и так называемых пилотных установок со скоростями массопереноса, выбранными из диапазона от 50 кг/ч до 5 т/ч. Диапазоны от 3000 до 17000 мм<sup>2</sup> и от 4000 до 6300 мм<sup>2</sup> являются предпочтительными для крупных производственных объектов со скоростями массопереноса, выбранными из диапазона от значения больше 5 до 100 т/ч.

В рамках дополнительного предпочтительного варианта осуществления площадь выходного отверстия представляет собой круг диаметром, выбранным из диапазона от 2 до 150 мм, предпочтительно от 4 до 100 мм, а наиболее предпочтительно от 8 до 75 мм, тогда как диапазоны от 2 до 15 мм и от 4 до 20 мм, а также от 35 до 150 мм и от 40 до 100 мм и от 45 до 75 мм также являются предпочтительными. Диапазоны от 2 до 15 мм и от 4 до 20 мм являются предпочтительными для малых производственных объектов

и так называемых пилотных установок со скоростью массопереноса, выбранной из диапазона от 50 кг/ч до 5 т/ч. Диапазоны от 35 до 150 мм и от 40 до 100 мм, а также от 45 до 75 мм являются предпочтительными для крупных производственных объектов со скоростью массопереноса, выбранной из диапазона от значения больше 5 до 100 т/ч.

В рамках конкретного предпочтительного варианта осуществления площадь выходного отверстия снабжена соплом, например, как изображено на фиг. 2.

Сопло включает в себя трубчатое тело с первым открытым концом и вторым открытым концом. Сопло выполнено с возможностью быть вставленным в выходное отверстие реактора парового взрыва и соединённым с ним, при этом второй открытый конец соединён с трубопроводом для подачи предварительно обработанной биомассы по меньшей мере в одно из вторичных устройств, предпочтительно включающих в себя сепаратор, а первый открытый конец располагается на одной линии с внутренней стенкой сосуда реактора или простирается в сосуд реактора. Внутренняя поверхность трубчатого тела сопла включает в себе нарезную винтовую структуру.

Нарезная винтовая структура сопла в значительной степени дополнительно снижает потребление пара системой гидротермальной предварительной обработки.

В предпочтительном варианте осуществления шаг нарезной винтовой структуры находится в диапазоне от 1 до 300 мм, предпочтительно от 10 до 150 мм, более предпочтительно от 20 до 100 мм, а наиболее предпочтительно от 30 до 60 мм. Особенно предпочтительными являются 30, 40, 50 и 60 мм.

Длина сопла находится в диапазоне от 1 до 3500 мм, предпочтительно от 10 до 1000 мм, а более предпочтительно от 30 до 600 мм, ещё предпочтительнее от 60 до 500 мм. Наиболее предпочтительными являются значения длины, равные 50, 60, 80, 100, 200, 300, 400 и 500 мм. Длина и шаг нарезной винтовой структуры соответствующим образом могут быть выбраны так, чтобы получалось примерно от 1 до 5 полных витков, а предпочтительно 2 полных витка.

Площадь сечения, ограниченная внутренней поверхностью сопла, находится в диапазоне от 10 до 17000 мм<sup>2</sup>, предпочтительно от 10 до 9000 мм<sup>2</sup>, ещё предпочтительнее от 20 до 8000 мм<sup>2</sup>, более предпочтительно от 50 до 700 мм<sup>2</sup>, также предпочтительно от 60 до 5000 мм<sup>2</sup>. Дополнительными предпочтительными диапазонами являются диапазоны от 10 до 150 мм<sup>2</sup>, от 30 до 100 мм<sup>2</sup> и от 50 до 80 мм<sup>2</sup>, а также диапазоны от 1000 до 8000 мм<sup>2</sup>, от 1500 до 7000 мм<sup>2</sup> и от 2000 до 6000 мм<sup>2</sup>. Чем меньше площадь сечения, ограниченная внутренней поверхностью сопла, тем меньше общее потребление пара.

Сопло может иметь любую подходящую форму. Однако предпочтительно форма сечения, ограниченного внутренней поверхностью сопла, является круглой или эллиптической с целью уменьшения турбулентности потока материала биомассы.

Глубина нарезной винтовой структуры находится в диапазоне от 0,1 до 15 мм, предпочтительно от 0,5 до 10 мм, а более предпочтительно от 1 до 5 мм, тогда как значения от 1,5 до 3 мм также являются предпочтительными.

Ширина нарезной винтовой структуры находится в диапазоне от 0,1 до 3 мм, предпочтительно от 0,5 до 2 мм, а более предпочтительно от 1,0 до 1,5 мм.

Сопло, как правило, может быть изготовлено из любого материала, известного специалисту в данной области техники в качестве подходящего для настоящего изобретения. Сопла предпочтительно изготовлены из материала с высокой стойкостью к истиранию, такого как керамический материал, как, например, оксид алюминия, а предпочтительнее из алюмооксидного материала высокой чистоты и наиболее предпочтительно из оксида алюминия, имеющего чистоту выше 92%, а предпочтительнее имеющего чистоту 99,7%, особенно предпочтительно чистоту от 99,50 до 99,99%. Предпочтительной является стойкость к истиранию, равная по меньшей мере 1800 МПа по шкале твёрдости Виккерса. Особенно предпочтительно стойкость к истиранию составляет по меньшей мере 2000 МПа по шкале твёрдости Виккерса, при этом наиболее предпочтительными являются величины, составляющие по меньшей мере 2500 МПа.

В предпочтительном варианте осуществления сопло исполнено таким образом, как изображено на фиг. 2. Сопло 16 включает в себе в общем цилиндрическое трубчатое тело 30 с первым открытым концом 32 и вторым открытым концом 34. Трубчатое тело 30 имеет в целом круглое сечение. Внутренняя поверхность 36 стенки трубчатого тела 30 снабжена нарезной винтовой структурой. Структуры, изображённые на фиг. 2, необязательно соответствуют действительным размерам сопла 16. Изображена только нижняя половина части сопла 16, так что видна нарезная винтовая структура на внутренней поверхности 36 стенки. Винтовая структура состоит из множества канавок 40, имеющих глубину 1 мм и ширину 1,5 мм. Шаг канавок 40 составляет 30 мм, так что каждая канавка 40 образует два витка по всей длине сопла 16, равной 60 мм.

Сопло 16, изображённое на фиг. 2, предпочтительно изготовлено из промышленно доступного алюмооксидного материала высокой чистоты (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99,7%). В случае сопла 16, изготовленного из указанного материала, не обнаружено никакого истирания по истечении 200 ч работы. Таким образом, сопло 16 не только уменьшает требуемое количество пара при гидротермальной предварительной обработке биомассы, но также керамическое сопло 16 позволяет осуществлять более ровный режим работы, поскольку процесс предварительной обработки не должен прерываться во время эксплуатации.

Без ограничения объёма настоящего изобретения особенно предпочтительны следующие ниже варианты осуществления, приведённые в табл. 1-4.

Таблица 1

Влага (%)	Площадь выходного отверстия, ОА (мм <sup>2</sup> )	PRP ( $\frac{ч}{кг \cdot \sqrt{\%}}$ )
25-45	65-80	0,250-0,375
25-45	4000-5500	0,0040-0,0065
10-20	30-90	0,40-0,70
10-20	4000-5000	0,007-0,009
10-18	60-75	0,50-0,60
10-18	4000-5500	0,007-0,009
15-30	60-70	0,40-0,70
15-30	3000-4500	0,008-0,010

Дополнительные предпочтительные варианты осуществления описаны в табл. 2.

Таблица 2

Влага (%)	Площадь выходного отверстия, ОА (мм <sup>2</sup> )	PRP ( $\frac{ч}{кг \cdot \sqrt{\%}}$ )	Температура (°C)
25-45	65-80	0,250-0,375	160-190
25-45	4000-5500	0,0040-0,0065	160-190
10-20	30-90	0,40-0,70	160-190
10-20	4000-5000	0,007-0,009	160-190
10-18	60-75	0,50-0,60	160-190
10-18	4000-5500	0,007-0,009	160-190
15-30	60-70	0,40-0,70	160-190
15-30	3000-4500	0,008-0,010	160-190

Дополнительные предпочтительные варианты осуществления описаны в табл. 3.

Таблица 3

Влага (%)	Площадь выходного отверстия, ОА (мм <sup>2</sup> )	PRP ( $\frac{ч}{кг \cdot \sqrt{\%}}$ )	Массовая скорость потока, $\dot{m}$ (кг/ч)
25-45	65-80	0,250-0,375	250-750
25-45	4000-5500	0,0040-0,0065	15000-35000
10-20	30-90	0,40-0,70	250-750
10-20	4000-5000	0,007-0,009	15000-35000
10-18	60-75	0,50-0,60	250-750
10-18	4000-5500	0,007-0,009	15000-35000
15-30	60-70	0,40-0,70	250-750
15-30	3000-4500	0,008-0,010	15000-35000

Дополнительные предпочтительные варианты осуществления описаны в табл. 4.

Таблица 4

Влага (%)	Площадь выходного отверстия, ОА (мм <sup>2</sup> )	PRP (ч/кг <sup>√</sup> %)	Массовая скорость потока, $\dot{m}$ (кг/ч)
25-45	65-80	0,250-0,375	400
25-45	4000-5500	0,0040-0,0065	25000
10-20	30-90	0,40-0,70	400
10-20	4000-5000	0,007-0,009	25000
10-18	60-75	0,50-0,60	400
10-18	4000-5500	0,007-0,009	25000
15-30	60-70	0,40-0,70	400
15-30	3000-4500	0,008-0,010	25000

### Фигуры и примеры

Следующие ниже примеры и фигуры иллюстрируют предпочтительные варианты осуществления изобретения, но не ограничивают объём или формулу изобретения.

На фиг. 1 показано предпочтительное расположение и вариант воплощения зоны ОА выходного отверстия реактора предварительной обработки методом парового взрыва.

На фиг. 2 показан предпочтительный вариант воплощения соплового оборудования.

На фиг. 1 позиция 1 указывает зону ОА выходного отверстия, позиция 2 указывает трубопровод для подачи материала предварительно обработанной биомассы во вторичное устройство, позиция 3 указывает внешнюю стенку реактора 4 предварительной обработки, а позиция 5 указывает фланец для крепления трубопровода 2 к реактору 4.

Состав материала биомассы анализировали в соответствии с методом NREL (Национальная лаборатория возобновляемой энергии, США) и ASE (Альянс за устойчивую энергетику, ООО Министерства энергетики): "Determination of Structural Carbohydrates and Lignin on Biomass", Version 08-03-2012.

Обнаружены следующие компоненты:

содержание сухого вещества (СВ);

глюкоза (целлюлоза, глюкан);

ксилоза (ксилан);

зола;

лигнин (нерастворимый в кислоте).

Для точного сопоставления результаты корректировали путём вычитания содержания золы.

Типовой расчёт для примера 1-0:

содержание сухого вещества: 85,0%;

глюкоза (целлюлоза, глюкан):  $33,2\% \Rightarrow 33,2\% / ((100-6,0\%) / 100) = 35,3\%$ ;

ксилоза (ксилан):  $21,3\% \Rightarrow 21,3\% / ((100-6,0\%) / 100) = 22,7\%$ ;

зола: 6,0%;

лигнин (нерастворимый в кислоте):  $15,6\% \Rightarrow 15,6\% / ((100-6,0\%) / 100) = 16,6\%$ ;

содержание влаги вычисляли путём вычитания измеренного значения СВ: 15 мас.%.  
 $\frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч}}$

Пример 1-0 (сравнительный). Пшеничная солома (влага 15 мас.%). FPP 0,7 ч\*мм<sup>2</sup>.

Тюки пшеничной соломы разминали в дробилке тюков (фирма Tietjen), снабжённой ротационными скребками, работающими со скоростью 3000 об/мин, что давало на выходе частицы размерами от 10 до 40 см. Указанный размер частиц обеспечивает ровную транспортировку материала и режим работы на следующей стадии измельчения. Пневматическим способом материал биомассы перемещали в молотковую мельницу (модель Tietjen VDK 4.1) с 30-миллиметровыми ситами, работающую со скоростью 3000 об/мин, где пшеничную солому резали на кусочки со средними размерами частиц от 1 до 5 см.

Резаную пшеничную солому транспортировали в реактор предварительной термальной обработки при помощи подающего устройства в виде игольчатого барабана (фирма Metso; PDF 2545) с последующим транспортировочным винтом (фирма Metso; FFS 211) и запорным винтом (фирма Metso; ADI 180). В подающем устройстве в виде игольчатого барабана задавали массовую скорость потока,  $\dot{m}$ , равную 400 кг (СВ)/ч. Пшеничная солома имела содержание сухого вещества, равное 85 мас.%, содержание ксилоты 22,7 мас.% и содержание лигнина 16,6 мас.%, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,47 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч}}$ .

В сосуде реактора (фирма Metso; RHA 740) предварительной обработки пшеничную солому подвергали непрерывной предварительной обработке паром при температуре 160°C в течение 5 мин без добавления каких-либо химических веществ. Потребление пара измеряли при помощи вихревого расходомера Vortex Flowmeter Proline® от фирмы Endress & Hauser при скорости 1,755 кг/ч. После указанной

предварительной гидротермальной обработки предварительно обработанную пшеничную солому перемещали в циклон (фирма Schrader; DN1200) для отделения органических материалов от газов.

Сосуд реактора предварительной обработки имел выходное отверстие с площадью сечения около  $283 \text{ мм}^2$ , а FPP (параметр обработки сырья) был выбран равным  $0,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Определено, что потребляемое количество пара на 1 кг СВ составляло 4,4 кг. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 1-А. Пшеничная солома (влага 15 мас.%). FPP  $3,3 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Состав был идентичен составу, использованному в примере 1-0 (PRP =  $0,47 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ ).

Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $3,3 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $65 \text{ мм}^2$ . Было измерено, что потребление пара составляло 403 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 1,0 кг на 1 кг СВ, что представляло собой эффективное снижение потребления пара на 77% по сравнению с примером 1-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 1-В. Пшеничная солома (влага 15 мас.%). FPP  $2,3 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Пшеничная солома имела содержание сухого вещества, равное 85 мас.%, содержание ксилоты 21,3 мас.%, а содержание лигнина 15,6 мас.%, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,47 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP

(параметр обработки сырья) заменяли на  $2,3 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $90 \text{ мм}^2$ . Было определено, что потребление пара составляло 558 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 1,4 кг на 1 кг СВ, что представляло собой эффективное снижение потребления пара на 68,2% по сравнению с примером 1-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 1-С. Пшеничная солома (влага 15 мас.%). FPP  $7,0 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Состав был идентичен составу, использованному в примере 1-В (PRP =  $0,47 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ ).

Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $7,0 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $30 \text{ мм}^2$ . Было измерено, что потребление пара составляло 186 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 0,5 кг на 1 кг СВ. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 1-Д. Пшеничная солома (влага 20 мас.%). FPP  $3,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Пшеничная солома имела содержание сухого вещества, равное 80 мас.%, содержание ксилоты 21,3 мас.%, а содержание лигнина 15,6 мас.%, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,41 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ .

Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $3,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $65 \text{ мм}^2$ . Было определено, что потребление пара составляло 403 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 1,0 кг на 1 кг СВ, что представляло собой эффективное снижение потребления пара на 77,0% по сравнению с примером 1-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 1-Е. Пшеничная солома (влага 10 мас.%). FPP  $2,3 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Пшеничная солома имела содержание сухого вещества, равное 90 мас.%, содержание ксилоты 20,0 мас.%, а содержание лигнина 17,0 мас.%, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,67 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ .

Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $2,3 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $65 \text{ мм}^2$ . Было определено, что потребление пара составляло 403 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 1,0 кг на 1 кг СВ, что представляло собой эффективное снижение потребления пара на 77,0% по сравнению с примером 1-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 2-0 (сравнительный). Пшеничная солома (влага 15 мас.%). FPP  $0,8 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Тюки пшеничной соломы разминали в дробилке тюков (фирма Tietjen), снабжённой ротационными скребками, работающими со скоростью 3000 об/мин, что давало на выходе частицы размерами от 10 до 40 см. Указанный размер частиц обеспечивает ровную транспортировку материала и режим работы на следующей стадии измельчения. Пневматическим способом материал биомассы перемещали в молотковую мельницу (фирма Tietjen) с 30-миллиметровыми ситами, работающую со скоростью 3000 об/мин, где пшеничную солому резали на кусочки со средними размерами частиц от 1 до 5 см.

Резаную пшеничную солому транспортировали в реактор предварительной термальной обработки при помощи подающего устройства в виде игольчатого барабана (фирма Metso) с последующим транспортировочным винтом (фирма Metso) и запорным винтом (фирма Metso). В подающем устройстве в виде игольчатого барабана задавали массовую скорость потока,  $\dot{m}$ , равную  $25000 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  (СВ)/ч. Состав был идентичен составу в примере 1-В (PRP =  $0,008 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ ).

В сосуде реактора предварительной обработки (фирма Metso) пшеничную солому подвергали непрерывной предварительной обработке паром при температуре  $160^\circ\text{C}$  в течение 5 мин без добавления каких-либо химических веществ. Потребление пара измеряли при помощи вихревого расходомера Vortex Flowmeter Proline® от фирмы Endress & Hauser при скорости  $1,755 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$ . После указанной предварительной гидротермальной обработки предварительно обработанную пшеничную солому перемещали в циклон (фирма Schrader) для отделения органических материалов от газов.

Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $0,8 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $16000 \text{ мм}^2$ . Было измерено, что потребление пара составляло  $99200 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  и соответствовало удельному потреблению пара  $4,0 \frac{\text{кг}}{\text{кг СВ}}$ . Результаты приведены в табл. 5.

Пример 2-А. Пшеничная солома (влага 15 мас.%). FPP  $3,1 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 2-0. Состав был идентичен составу в примере 2-0 (PRP =  $0,008 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ ).

Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $3,1 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $4200 \text{ мм}^2$ . Было измерено, что потребление пара составляло  $26040 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  и соответствовало удельному потреблению пара  $1,0 \frac{\text{кг}}{\text{кг СВ}}$ , что представляло собой эффективное снижение потребления пара на  $73,8\%$  по сравнению с примером 2-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 3-0 (сравнительный). Кукурузные стебли (влага 17 мас.%). FPP  $0,6 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Кукурузные стебли имели содержание сухого вещества, равное  $83 \text{ мас.}\%$ , содержание ксилоты  $19,7 \text{ мас.}\%$ , а содержание лигнина  $17,8 \text{ мас.}\%$ , что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,547 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $0,6 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $283 \text{ мм}^2$ . Было определено, что потребление пара составляло  $1811 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  и соответствовало удельному потреблению пара  $4,5 \frac{\text{кг}}{\text{кг СВ}}$ . Результаты приведены в табл. 5.

Пример 3-А. Кукурузные стебли (влага 17 мас.%). FPP  $0,6 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Кукурузные стебли были идентичны использованному в примере 3-0 (PRP равен  $0,547 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ ). Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $2,9 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $63 \text{ мм}^2$ . Было измерено, что потребление пара составляло  $403 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$  и соответствовало удельному потреблению пара  $1,0 \frac{\text{кг}}{\text{кг СВ}}$ , что представляло собой эффективное снижение потребления пара на  $77,7\%$  по сравнению с примером 3-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 3-В. Кукурузные стебли (влага 30 мас.%). FPP  $0,6 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Кукурузные стебли имели содержание сухого вещества, равное  $70 \text{ мас.}\%$ , содержание ксилоты  $19,7 \text{ мас.}\%$ , а содержание лигнина  $17,8 \text{ мас.}\%$ , что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,412 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $3,6 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия



до 67 мм<sup>2</sup>. Было определено, что потребление пара составляло 429 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 1,1 кг на 1 кг СВ, что представляло собой эффективное снижение потребления пара на 76,3 % по сравнению с примером 3-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 4-0 (сравнительный). Кукурузные стебли (влага 17 мас.%). FPP  $0,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 2-0. Кукурузные стебли были идентичны использованному в примере 3-0, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,009 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $0,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до 16 000 мм<sup>2</sup>. Было измерено, что потребление пара составляло 102400 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 4,1 кг на 1 кг СВ. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 4-А. Кукурузные стебли (влага 17 мас.%). FPP  $3,0 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 4-0. Кукурузные стебли были идентичны использованному в примере 3-0, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,009 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $3,0 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до 3800 мм<sup>2</sup>. Было измерено, что потребление пара составляло 24 320 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 1,0 кг на 1 кг СВ, что представляло собой эффективное снижение потребления пара на 76,3 % по сравнению с примером 4-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 5-0 (сравнительный). Ячменная солома (влага 13 мас.%). FPP  $0,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Ячменная солома имела содержание сухого вещества, равное 87 мас.%, содержание ксилоты 18,8 мас.%, а содержание лигнина 14,2 мас.%, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,521 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $0,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до 283 мм<sup>2</sup>. Было определено, что потребление пара составляло 1 641 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 4,1 кг на 1 кг СВ. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 5-А. Ячменная солома (влага 13 мас.%). FPP  $2,9 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 5-0. Ячменная солома была идентичной использованной в примере 5-0, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,521 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $2,9 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до 66 мм<sup>2</sup>. Было измерено, что потребление пара составляло 383 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 1,0 кг на 1 кг СВ, что представляло собой эффективное снижение потребления пара на 76,7% по сравнению с примером 5-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 6-0 (сравнительный). Ячменная солома (влага 13 мас.%). FPP  $0,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 2-0. Ячменная солома была идентична использованной в примере 5-0, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,008 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $0,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до 16000 мм<sup>2</sup>. Было измерено, что потребление пара составляло 92800 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 3,7 кг на 1 кг СВ. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 6-А. Ячменная солома (влага 13 мас.%). FPP  $2,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 6-0. Ячменная солома была идентична использованной в примере 6-0, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,008 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $2,7 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до 4500 мм<sup>2</sup>. Было измерено, что потребление пара составляло 26100 кг/ч и соответствовало удельному потреблению пара 1,0 кг на 1 кг СВ, что представляло собой эффективное снижение потребления пара на 71,9% по сравнению с примером 6-0. Результаты приведены в табл. 5.

Пример 7-0 (сравнительный). Жмых сахарного тростника (влага 40 мас.%). FPP  $1,0 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}\cdot\text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 1-0. Жмых имел содержание сухого вещества, равное 60 мас.%, содержание ксилоты 22,0 мас.%, а содержание лигнина 19,2 мас.%, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,345 \frac{\text{кг}\cdot\sqrt{\%}}{\text{ч}}$ . Значение FPP (параметр обра-

ботки сырья) заменяли на  $1,0 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $283 \text{ мм}^2$ . Было определено, что потребление пара составляло  $1557 \text{ кг/ч}$  и соответствовало удельному потреблению пара  $3,9 \text{ кг}$  на  $1 \text{ кг СВ}$ . Результаты приведены в табл. 5.

Пример 7-А. Жмых сахарного тростника (влага  $40 \text{ мас.}\%$ ). FPP  $3,9 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 7-0. Жмых был идентичным использованному в примере 7-0, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,345 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ .

Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $3,9 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $74 \text{ мм}^2$ . Было измерено, что потребление пара составляло  $407 \text{ кг/ч}$  и соответствовало удельному потреблению пара  $1,0 \text{ кг}$  на  $1 \text{ кг СВ}$ , что представляло собой эффективное снижение потребления пара на  $73,9\%$  по сравнению с примером 7-0. Результаты представлены в табл. 5.

Пример 8-0 (сравнительный). Жмых сахарного тростника (влага  $40 \text{ мас.}\%$ ). FPP  $1,1 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 2-0. Жмых был идентичным использованному в примере 7-0, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,006 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ .

Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $1,1 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $16000 \text{ мм}^2$ . Было измерено, что потребление пара составляло  $88000 \text{ кг/ч}$  и соответствовало удельному потреблению пара  $3,5 \text{ кг}$  на  $1 \text{ кг СВ}$ . Результаты представлены в табл. 5.

Пример 8-А. Жмых сахарного тростника (влага  $40 \text{ мас.}\%$ ). FPP  $3,8 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ .

Подготовку биомассы осуществляли, как описано в примере 8-0. Жмых был идентичным использованному в примере 8-0, что в результате приводило к достижению значения PRP, равного  $0,006 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ .

Значение FPP (параметр обработки сырья) заменяли на  $3,8 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$  путём доведения площади выходного отверстия до  $4750 \text{ мм}^2$ . Было измерено, что потребление пара составляло  $26125 \text{ кг/ч}$  и соответствовало удельному потреблению пара  $1,0 \text{ кг}$  на  $1 \text{ кг СВ}$ , что представляло собой эффективное снижение потребления пара на  $70,3\%$  по сравнению с примером 8-0. Результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5

Пример	Ксилан (Ксилан) [мас. %]	Лигнин [мас. %]	Влага [мас. %]	Массовая скорость потока, $\dot{m}$ [кг/ч]	Площадь выходного отверстия ОА [мм <sup>2</sup> ]	PRP $\left[ \frac{\text{ч}}{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}} \right]$	Потребление пара [кг/(мм <sup>2</sup> ·ч)]	Потребление пара [кг/ч]	Потребление пара [кг (пар)/кг (СВ)]	Экономия пара [%]	FPP $\left[ \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2} \right]$
1-0	22,7	16,6	15	400	283	0,47	6,2	1 755	4,4		0,7
1-A	22,7	16,6	15	400	65	0,47	6,2	403	1,0	77,0	3,3
1-B	21,3	15,6	15	400	90	0,47	6,2	558	1,4	68,2	2,3
1-C	21,3	15,6	15	400	30	0,47	6,2	186	0,5	89,4	7,0
1-D	21,3	15,6	20	400	65	0,41	6,2	403	1,0	77,0	3,7
1-E	20,0	17,0	10	400	65	0,67	6,2	403	1,0	77,0	2,3
2-0	21,3	15,6	15	25 000	16 000	0,008	6,2	99 200	4,0		0,8
2-A	21,3	15,6	15	25 000	4 200	0,008	6,2	26 040	1,0	73,8	3,1
3-0	19,7	17,8	17	400	283	0,547	6,4	1 811	4,5		0,6
3-A	19,7	17,8	17	400	63	0,547	6,4	403	1,0	77,7	2,9
3-B	19,7	17,8	30	400	67	0,412	6,4	429	1,1	76,3	3,6
4-0	19,7	17,8	17	25 000	16 000	0,009	6,4	102 400	4,1		0,7
4-A	19,7	17,8	17	25 000	3 800	0,009	6,4	24 320	1,0	76,3	3,0
5-0	18,8	14,2	13	400	283	0,521	5,8	1 641	4,1		0,7
5-A	18,8	14,2	13	400	66	0,521	5,8	383	1,0	76,7	2,9
6-0	18,8	14,2	13	25 000	16 000	0,008	5,8	92 800	3,7		0,7
6-A	18,8	14,2	13	25 000	4 500	0,008	5,8	26100	1,0	71,9	2,7
7-0	22,0	19,2	40	400	283	0,345	5,5	1 557	3,9		1,0
7-A	22,0	19,2	40	400	74	0,345	5,5	407	1,0	73,9	3,9
8-0	22,0	19,2	40	25 000	16 000	0,006	5,5	88 000	3,5		1,1
8-A	22,0	19,2	40	25 000	4 750	0,006	5,5	26 125	1,0	70,3	3,8

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ снижения потребления энергии при предварительной обработке биомассы, отличающийся тем, что параметр обработки сырья, FPP, выбирают в пределах диапазона от  $1,5 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$  до  $7,0 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ , причём параметр обработки сырья, FPP, определен следующим образом:

$$FPP = \frac{1}{(PRP \left( \frac{\text{ч}}{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}} \right) \times \text{площадь выходного отверстия (мм}^2))} \times 100,$$

причём параметр стойкости при предварительной обработке, PRP, определен следующим образом:

$$PRP = \frac{\text{лигнин (мас. \%)}}{(\text{ксилоза (мас. \%)} \times \sqrt{\text{влага (мас. \%)} \times \dot{m} \left( \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right)})} \times 1000.$$

2. Способ по п.1, в котором параметр обработки сырья, FPP, выбирают в пределах диапазона от  $2,0 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$  до  $4,5 \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}{\text{ч} \cdot \text{мм}^2}$ .

3. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором биомасса представляет собой лигно-целлюлозную биомассу.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором параметр стойкости биомассы при предварительной обработке, PRP, выбирают в пределах диапазона от  $0,002 \frac{\text{ч}}{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}$  до  $1,000 \frac{\text{ч}}{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}$ , причём параметр стойкости при предварительной обработке, PRP, определен следующим образом:

$$PRP = \frac{\text{лигнин (мас. \%)}}{(\text{ксилоза (мас. \%)} \times \sqrt{\text{влага (мас. \%)} \times \dot{m} \left( \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right)})} \times 1000.$$

5. Способ по п.4, в котором параметр стойкости биомассы при предварительной обработке, PRP, выбирают в пределах диапазона от  $0,003 \frac{\text{ч}}{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}$  до  $0,80 \frac{\text{ч}}{\text{кг} \cdot \sqrt{\%}}$ .

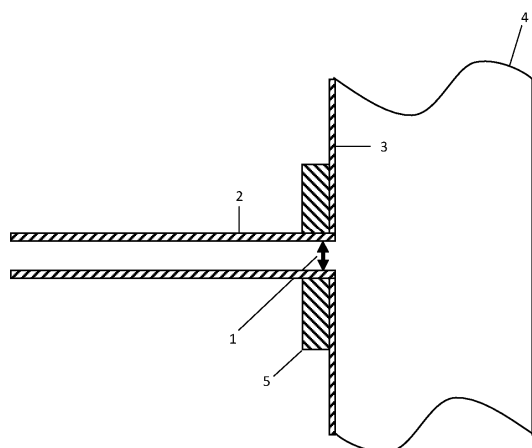
6. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором биомасса характеризуется отношением лигнина к глюкозе, составляющим от 0,35 до 0,60 мас. %.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором содержание влаги в биомассе выбирают в пределах диапазона от 5 до 60 мас. %.

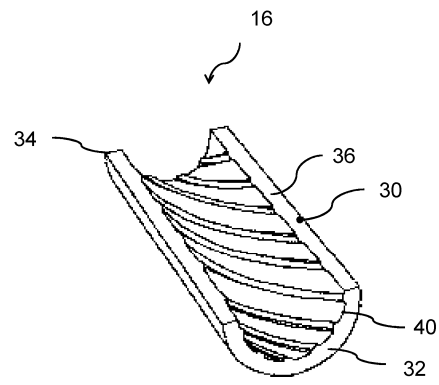
8. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором содержание ксилозы в биомассе выбирают в пределах диапазона от 10,0 до 30,0 мас. %.

9. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором давление пара выбирают в пределах диапазона от 8,0 до 15,0 бар.

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором предварительную обработку биомассы осуществляют в течение периода времени, выбранного из диапазона от 1 до 20 мин.



Фиг. 1



Фиг. 2

