

Изобретение относится к способу гидролиза биомассы, а точнее к способу производства сахаров из материалов, содержащих целлюлозу и гемицеллюлозу, путем гидролиза концентрированной серной кислотой.

Целлюлоза составляет основную часть всей растительной биомассы. Источником целлюлозы является структурная ткань растений. Целлюлоза вместе с гемицеллюлозой и лигнином составляет основную часть растительной клетчатки. Целлюлоза состоит из длинных цепочек  $\beta$ -глюкозных групп, сшитых в положениях 1, 4. Эти связи придают целлюлозе высокую степень кристаллизации, что определяет низкую возможность воздействия ферментов или кислых катализаторов. Гемицеллюлоза является аморфным гетерополимером, который легко подвергается гидролизу. Лигнин –ароматический трехмерный полимер, заполняющий промежутки между целлюлозой и гемицеллюлозой внутри клетчатки растений.

Установлено, что три четверти от приблизительно 24 миллионов тонн биомассы, получаемой на культивируемых землях и пастбищах, превращается в отходы. Эти отходы давно стремились использовать для создания альтернативных источников горючего, химических продуктов и других полезных веществ. Однако попытки осуществить гидролиз целлюлозы до сих пор не привели к созданию экономически эффективного способа производства сахаров в больших количествах, что главным образом определено высокой степенью кристаллизации структуры целлюлозы и наличием в ней лигнина.

Способы гидролиза целлюлозы, о которых сообщалось ранее, включают биологические и небиологические способы деполимеризации. В биологических способах используются ферменты целлюлозы. Среди небиологических способов традиционным и наиболее известным в производстве сахаров из целлюлозы является гидролиз с помощью кислоты. Кислотой, наиболее часто используемой в этом способе, является серная кислота. Вообще, гидролиз, осуществляемый с помощью серной кислоты, можно подразделить на гидролиз либо разбавленной, либо концентрированной кислотой.

При проведении гидролиза целлюлозы разбавленной кислотой обычно используют серную кислоту с концентрацией от 0,5 до 15%. Кроме того, для проведения гидролиза необходима температура в диапазоне от 90 до 600°C и давление до 5515,8 кПа. При высоких температурах сахара разлагаются, образуя фурфурол и другие нежелательные побочные продукты. Выход глюкозы, которая при этом образуется, обычно низок, менее чем 50%. Соответственно, способ гидролиза разбавленной кислотой не дает возможности получать сахара из материалов, содержащих целлюлозу, с большим выходом при низкой стоимости.

Способы гидролиза, осуществляемые с помощью концентрированной серной кислоты, более эффективны, а выход сахара при этом выше. В этих способах обычно используют серную кислоту с концентрацией от 60 до 90%. Несмотря на то, что эти способы были успешными, обеспечивая выходы сахара выше 90%, в прошлом они не были экономически осуществимыми в связи с высокой стоимостью концентрированной серной кислоты и ее последующей регенерации, трудностями, которые встречаются при обращении с концентрированной серной кислотой, и необходимостью в оборудовании, кислотостойком при высоких температурах. Кроме того, чем выше концентрация используемой кислоты, тем больше энергии требуется для повышения ее концентрации, что делает эти процессы экономически невыгодными.

В недавнем прошлом, однако, способ гидролиза концентрированной кислотой стал объектом дополнительного исследования (см. доклады Фэна Л.Т., Харпюрея М.М. и Ли И.Х., "Гидролиз целлюлозы", стр. 170-172, 1992 г., и Бродера Дж. Д., Барриера Дж. В. и Лайтсея Дж. Р. "Превращение хлопковой макулатуры и других остатков в жидкое топливо", представленные на конференции Американской Ассоциации Сельскохозяйственных Инженеров, 14-15 декабря 1992 г.). Эти способы в основном состоят из следующих стадий: (1) предварительный гидролиз для осуществления гидролиза гемицеллюлозы, (2) основной гидролиз целлюлозы и (3) последующий гидролиз для образования глюкозы из олигосахаридов, образованных на стадии (2). Первая стадия включает добавление серной кислоты к биомассе, которая затем подогревается до температуры не ниже 100°C для разложения гемицеллюлозы. Результатом стадии предварительного гидролиза является раствор, содержащий не только фактически все сахара C5, но также сахара C6. Таким образом, сахара C6 невозможно извлечь, пока не будут извлечены все сахара C5, в результате выход сахара понижается. После удаления потока сахара, образованного на стадии предварительного гидролиза, добавляют концентрированную кислоту для разрушения кристаллической решетки целлюлозы и образования глюкозы. Образованные сахара затем подвергаются сбраживанию для превращения в спирты. Однако было установлено, что для придания этому способу коммерческой целесообразности его стадии необходимо упростить, снизить расход энергии и устранить проблемы, связанные с регенерированием использованной кислоты.

Дополнительные проблемы, возникающие на пути коммерциализации известного способа гидролиза кислотой, связаны с образованием больших количеств гипса при нейтрализации отработанной или использованной кислоты. В связи с низкой концентрацией сахара, получаемого в результате этого процесса, возникает необходимость повышения концентрации перед началом процесса брожения. Если гидролиз производят при температуре выше 150°C, то в результате разложения пентоз образуются такие соединения, как фурфурол. Эти соединения препятствуют брожению, и некоторые из них токсичны.

В дополнение к этим трудностям было установлено, что брожение сахаров, полученных в результате гидролиза концентрированной кислотой, связано с дополнительными проблемами. В результате гидролиза целлюлозы и гемицеллюлозы образуются сахара C5 и C6. Известно, что гексозы легко подвергаются брожению, в то время как процесс брожения пентоз является более трудным. Таким образом, полученные сахара сначала необходимо разделить, что часто связано с использованием сложной технологии сепарации, а затем подвергнуть сбраживанию под действием различных микроорганизмов, обладающих свойствами производить сбраживание либо гексоз, либо пентоз.

В предшествующих способах гидролиза кислотой совершенно не принималось во внимание то, каким образом должна перерабатываться биомасса с высоким содержанием диоксида кремния. Просто выбрасывать ее – означает брать на себя ответственность за состояние окружающей среды и рисковать деньгами. В проектах, предусматривающих использование биомассы для сжигания в целях производства энергии, высокое содержание диоксида кремния приведет к образованию больших количеств шлама и к необходимости решения проблем, связанных с переработкой огромных масс золы, образующейся в результате сжигания биомассы.

Эти соединения кремния имеют большое коммерческое значение и регенерация диоксида кремния из сельскохозяйственных отходов является все более важной (см. Карера А., Найджис С., Пател С., Пател М., "Материалы на основе соединений кремния, получаемые из рисовой шелухи", Журнал научных и промышленных исследований, т. 45, 1986 г., стр. 441-448). Хорошо известно, что обработка биомассы гидроксидом натрия приводит к растворению целлюлозы и гемицеллюлозы, что дает возможность отделить их от лигнина. Однако, целлюлоза с короткой цепочкой часто загрязняет кремниевые соединения в процессе удаления, и тем самым снижается выход сахара. Кроме того, удаление диоксида кремния путем фильтрации затруднено вследствие образования густого геля, который очень трудно отфильтровать.

Таким образом, существует необходимость в создании экономически эффективного, не загрязняющего окружающую среду способа получения сахара из биомассы, содержащей целлюлозу и гемицеллюлозу.

#### Сущность изобретения.

В соответствии с одним из аспектов изобретения предусмотрен способ производства сахаров из материалов, содержащих целлюлозу и гемицеллюлозу. Способ включает смешивание биомассы с раствором, содержащим от 25 до 90% кислоты, причем наиболее предпочтительным является содержание кислоты от 70 до 77%, при котором происходит декристаллизация целлюлозы и гемицеллюлозы. В соответствии с изобретением раствор кислоты добавляют до достижения отношения чистой кислоты к материалу, содержащему целлюлозу и гемицеллюлозу, по крайней мере 1:1. Наиболее предпочтительным является соотношение 1,25:1. В соответствии с предпочтительным вариантом осуществления изобретения используют серную кислоту.

В соответствии с другим аспектом изобретения предусмотрен способ гидролиза материалов, содержащих целлюлозу и гемицеллюлозу, кислотой, разбавленной до концентрации от 20 до 30%, с подогревом смеси. Наиболее предпочтительным является подогрев смеси до температуры от 80 до 100°C продолжительностью от 40 до 480 мин, причем гидролиз проводят при атмосферном давлении. Затем жидкий гидролизат отделяют от твердого материала предпочтительно путем прессования гидролизованной биомассы. Жидкий гидролизат, содержащий сахара и кислоту, собирают для дальнейшей переработки.

По данному изобретению исходные материалы сначала промывают для удаления грязи и примесей. Затем материалы могут быть высушены предпочтительно до влажности приблизительно 10%. Далее исходные материалы могут быть измельчены до частиц размером предпочтительно от 0,075 мм до 7 мм, причем наиболее предпочтительный средний размер частиц составляет приблизительно 5 мм перед стадией декристаллизации. Измельчение может проводиться рядом устройств, включая те, что обеспечивают перетирку, резку и дробление в молотковой мельнице.

В соответствии с другим аспектом изобретения декристаллизацию и гидролиз исходных материалов повторяют. Твердый материал, отделенный после первой стадии гидролиза, смешивают с серной кислотой с концентрацией 25-90%, причем более предпочтительной является концентрация серной кислоты от 70 до 77%, в результате чего происходит дальнейшая декристаллизация оставшегося твердого материала. По данному изобретению раствор кислоты добавляют до достижения отношения чистой кислоты к материалу, содержащему целлюлозу и гемицеллюлозу, по крайней мере 1:1. Более предпочтительным является соотношение 1,25:1.

В соответствии с другим аспектом изобретения вторую стадию гидролиза проводят кислотой с концентрацией от 20 до 30% с подогревом смеси, в результате чего происходит дальнейший гидролиз целлюлозы и всей оставшейся гемицеллюлозы. Предпочтительным является подогрев смеси до температуры 80-100°C продолжительностью от 40 до 480 мин, гидролиз проводят при атмосферном давлении. После этого гидролизат отделяют путем прессования гидролизованной биомассы. Жидкий гидролизат собирают и смешивают предпочтительно с первым жидким гидролизатом для проведения дальнейшего процесса, из оставшегося твердого материала может быть изготовлено гранулированное топливо.

В соответствии со следующим аспектом изобретения предусмотрен усовершенствованный способ отделения сахаров от кислоты в жидком гидролизате для получения жидкости, содержащей в целом по крайней мере 15 % сахаров и не более 3% кислоты. Этот способ включает использование устройства для сепарации, в котором сахара адсорбируются на сильнокислотной смоле. Устройство для сепарации представляет собой предпочтительно слой катионообменной смолы - сшитого полистирола, в котором смола сшита дивинилбензолом и обработана серной кислотой для получения сильнокислотной катионообменной смолы. Предпочтительная величина концентрации дивинилбензола составляет приблизительно от 6 до 8%. Другим способом получения этой смолы является сополимеризация винилбензилхлорида с дивинилбензолом и обработка сульфитом натрия для получения сильнокислотной катионообменной смолы. Величина концентрации дивинилбензола предпочтительно составляет также приблизительно от 6 до 8%.

Предпочтительной формой частиц смолы, используемых на стадии сепарации, являются шарики диаметром приблизительно от 200 до 500 микрон. Предпочтительная величина скорости в слое смолы составляет приблизительно от 2 до 5 м/ч, температура нагрева 40-60°C. По данному изобретению слой смолы

имеет плотность на различных участках от 0,6 до 0,9 г/мл, обменная емкость катионита составляет, по меньшей мере, 2 мг-экв/г.

В соответствии с изобретением гидролизат пропускают через слой смолы, на которой сахара адсорбируются. Затем смолу продувают газом, практически не содержащим кислород, который вытесняет кислоту из смолы перед стадией промывки. Эта стадия включает промывку смолы водой, практически не содержащей кислород, в результате чего образуется поток сахара, в котором содержится по крайней мере 98% сахара, который содержал жидкий гидролизат, поданный в устройство для сепарации.

В соответствии с другим аспектом изобретения после отделения кислоты от потока сахара повышают её концентрацию с целью повторного использования. Повышение концентрации производят предпочтительно путем испарения.

В соответствии со следующим аспектом изобретения предложен улучшенный способ сбраживания сахаров, полученных путем гидролиза материалов, содержащих целлюлозу и гемицеллюлозу, концентрированной кислотой, для получения спирта. Процесс сбраживания включает регулирование величины pH потока сахара для нейтрализации остатков кислоты и удаления ионов металлов. Регулирование величины pH предпочтительно производят путем добавления основания типа гидроксида кальция или оксида кальция для увеличения pH приблизительно до 11, после чего проводят обратное титрование кислотой до получения pH приблизительно около 4,5. Вещества типа магния, азота, фосфата калия, следов металлов и витаминов добавляют для того, чтобы обеспечить возможность роста микроорганизмов. После этого раст-вор сахара перемешивают с микроорганизмами для получения веществ, интенсифицирующих брожение. К веществам, интенсифицирующим брожение, относят этанол, п-бутанол, изопропиловый спирт, абетиновую кислоту, глицерин, масляную кислоту, молочную кислоту, 2,3-бутандиол, пропионовую кислоту, итакон-новую кислоту, лимонную кислоту, фумаровую кислоту и ацетон.

Процесс брожения по настоящему изобретению предусмотрен продолжительностью 3-5 дней, при-чем истаряющиеся вещества непрерывно выводятся из процесса брожения в результате рециркуляции двуокиси углерода через охлаждаемую конденсационную колонну. После 3-5 дней продукты брожения со-бирают после конденсационной колонны и дистиллируют. Дрожжи отделяют от продуктов брожения пред-почтительно центрифугированием, после чего они могут быть использованы повторно.

В качестве микроорганизмов, используемых в процессе брожения по изобретению, могут быть ис-пользованы дрожжи типа *Candida kefir*, *Pichia stipitis*, штаммы дрожжей с респираторной недостаточностью *Saccharomyces cerevisiae*, *Hansenula anomala*, *Hansenula jadinii*, *Hansenula fabiani* и *Pachysolen tannophilus*.

Эти дрожжи предпочтительно должны быть выращены на растворах пентозы в течение 1 - 2 недель перед использованием в процессе брожения. С другой стороны, в качестве микроорганизмов могут быть использованы бактерии ряда видов, таких как *Clostridium*, *Acetobacter*, *Lactobacillus*, *Aspergillus*, *Propionibacteria* и *Zymomonas mobilis*.

В соответствии с другим аспектом изобретения предложен способ выделения и переработки диокси-да кремния из биомассы типа рисовой соломы и отходов очистки хлопка, которые содержат его в большом количестве. Этот способ включает обработку твердого материала, оставшегося после первого гидролиза, при помощи гидроксида натрия, предпочтительно с концентрацией от 5 до 10%, для получения экстракта. Величину pH экстракта затем снижают приблизительно до 10, предпочтительно путем добавления кисло-ты, такой как соляная или серная. В результате этого кремниевая кислота выпадает в осадок. После этого кремниевую кислоту отделяют, предпочтительно путем фильтрации. Для обесцвечивания кремниевая кис-лота может быть затем обработана окислителем, например  $\text{NaOCl}$ . Из кремниевой кислоты далее могут быть получены силикагель, силикат натрия и силикат калия. Оставшийся экстракт предпочтительно ис-пользуют повторно, для чего добавляют  $\text{NaOH}$  до получения концентрации от 5 до 10%, а затем добавляют экстракт к вновь полученным твердым материалам перед обработкой этих материалов гидроксидом на-трия.

Дальнейшие аспекты настоящего изобретения станут понятными специалистам из описания изобре-тения.

Краткое описание чертежей.

Фиг. 1 – схематическое изображение способа по настоящему изобретению, на котором показаны ста-дии декристаллизации и гидролиза.

Фиг. 2– схематическое изображение способа по изобретению, на котором показаны стадии сепара-ции, брожения и восстановления концентрации кислоты.

Фиг. 3 – схематическое изображение способа по изобретению, на котором показаны стадии выделе-ния и обработки диоксида кремния.

Подробное описание изобретения.

Введение.

Изобретение относится к способу производства сахаров из биомассы, содержащей целлюлозу и ге-мицеллюлозу с использованием концентрированной серной кислоты. Полученные этим способом сахара могут быть использованы в качестве корма для животных или пищи для людей, а также в качестве исход-ных материалов для производства веществ из сахаров типа эфиров сахаров либо в качестве сырья для по-лучения путем сбраживания этанола или других продуктов, таких как бутанол, пропанол, ацетон, этила-цетат и многих других химических веществ, для получения которых могут быть использованы специфичес-кие микроорганизмы, метаболизм которых определяет характер процесса получения необходимых ве-ществ.

Способ по данному изобретению обеспечивает производство сахаров из биомассы, уменьшающий количество отходов или веществ, загрязняющих окружающую среду. При разработке способа предусмотре-

но повторное использование всех потоков и переработка всех твердых веществ в полезные продукты или продукты, которые можно продать. Большую часть кислоты регенерируют для повторного использования. В том случае, если в биомассе содержится большое количество диоксида кремния, в результате применения этого способа в качестве сопутствующих продуктов могут быть получены силикагель, силикат натрия или силикат калия. На стадиях процесса, включающих брожение, причем брожение сахаров как C5, так и C6, могут быть использованы природные микроорганизмы. Кроме того, высокий выход сахара, полученного путем гидролиза биомассы, делает необязательным повышение концентрации раствора сахара перед брожением.

Другие преимущества, обеспечиваемые заявляемым изобретением, касаются производительности и экономичности, которые повышаются благодаря тому, что процесс ведут при атмосферном давлении и относительно низких температурах. В результате этого способа не образуются фурфурол и другие вредные сопутствующие продукты, токсичные и замедляющие брожение. Способ по данному изобретению не требует использования редких и дорогих материалов типа легированной танталом стали для изготовления конструкций.

Как будет более подробно изложено ниже, в данном изобретении предусмотрены эффективные и экономичные средства производства полезных химических веществ путем гидролиза сельскохозяйственных отходов при минимальном количестве образующихся в процессе производства отходов или вообще без них.

Ниже приведены примеры, иллюстрирующие способ по данному изобретению.

#### **Декристаллизация**

Исходные материалы, используемые в процессе по данному изобретению, перемешивают в таком соотношении, что содержание целлюлозы и гемицеллюлозы составляет не менее 65%, причем более предпочтительная величина составляет приблизительно 75%. Первой, необязательной, стадией процесса является промывка биомассы для удаления грязи и примесей. На фиг. 1 показано, что рисовую солому 1, биомассу, используемую как пример на этих чертежах, промывают водой 2. К преимуществам способа по этому изобретению может быть отнесен широкий ряд исходных материалов, включающий рисовую солому, которую более трудно переработать, чем другие материалы, в связи с высоким содержанием диоксида кремния. Следует, впрочем, отметить, что сущность этого изобретения не ограничена каким-либо определенным типом биомассы, при этом имеется ввиду широкий диапазон материалов. Рисовая солома является просто типичным примером природной биомассы.

После окончания промывки 3 использованная вода перетекает в отстойник 4, для того, чтобы грязь и другие осадки 6 собрались на дне, после чего вода 5 может быть повторно использована для промывки следующей партии рисовой соломы перед переработкой.

После очистки рисовой соломы она может быть высушена 8, причем предпочтительная величина влажности составляет около 10%. После сушки материал измельчают 7 до частиц размером от 0,075 до 7 мм. Предпочтительным является размер частиц от 3 до 7 мм, причем средний размер частиц составляет 5 мм. Необходимо отметить, что для некоторых материалов последовательность этих двух стадий может быть изменена. Так, материал может быть подвергнут мокрому измельчению в устройствах типа гидропультера, а затем высушен.

Теперь рисовая солома подготовлена для декристаллизации. По способу, заявленному в изобретении, исходные материалы, содержащие целлюлозу и/или гемицеллюлозу, сначала перемешивают с концентрированной серной кислотой 9 с концентрацией от 25 до 90% для достижения эффективной декристаллизации. Предпочтительная величина концентрации используемой кислоты составляет от 70 до 77%. Кислоту необходимо добавить в таком количестве, чтобы отношение веса чистой кислоты к весу материалов, содержащих целлюлозу и гемицеллюлозу, составило по крайней мере 1:1. Предпочтительная величина отношения составляет 1,25:1. В результате добавления кислоты к биомассе образуется густой гель 10. Смещение исходного материала с кислотой имеет те преимущества, что оно приводит к разрыву связей между цепочками целлюлозы и гемицеллюлозы, что дает возможность производить гидролиз длинных цепей целлюлозы.

Декристаллизацию проводят при температуре, не превышающей 80°C, причем предпочтительная величина составляет 60-80°C. Если температура в процессе декристаллизации превысит 80°C, то при последующем гидролизе будет упущена большая часть сахаров C5. При условиях, предусмотренных изобретением, сохраняются сахара с наиболее высокой реакционной способностью, которые образуются в начале процесса гидролиза. Наличие стадии декристаллизации предотвращает преждевременный гидролиз и соответственно увеличивает степень разложения сахаров. Стадия декристаллизации описана ниже в примерах 1-3.

#### **Пример 1.**

Рисовая солома, содержащая 75% по весу целлюлозы и гемицеллюлозу, вес соломы составлял 50,01 г, была перемешана с 66,82 г 77 %  $H_2SO_4$ . Рисовую солому медленно добавляли к  $H_2SO_4$  таким образом, чтобы после добавления новых порций соломы оставался избыток жидкости. Температуру поддерживали ниже 80°C. Гель, образовавшийся после добавления последней порции рисовой соломы, был тщательно перемешан.

#### **Пример 2.**

Рисовая солома весом 50,04 г была перемешана с 98,91 г 77%  $H_2SO_4$ . Рисовую солому медленно добавляли к  $H_2SO_4$  таким образом, чтобы после добавления новой порции соломы оставался избыток жидкости. Температуру поддерживали ниже 80°C. Гель, образовавшийся после добавления последней порции рисовой соломы, был тщательно перемешан.

### **Пример 3.**

Смесь древесных обрезков и газетной бумаги весом 100,00 г была перемешана со 167,63 г 77 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Древесные обрезки были измельчены до размера 3-7 мм и порция весом 40 г была перемешана с 60 г газетной бумаги, разрезанной на полосы шириной приблизительно 6 мм. Эту смесь медленно добавляли к  $\text{H}_2\text{SO}_4$  таким образом, чтобы после добавления каждой порции оставался избыток жидкости. Температуру поддерживали ниже 80°C. Гель, образовавшийся после добавления последней порции обрезков и газетной бумаги, был тщательно перемешан.

### **Первый гидролиз.**

После стадии декристаллизации концентрированную кислоту разбавляют предпочтительно до концентрации от 20 до 30%, для чего используют предпочтительно возвратную воду 11. Затем смесь подогревают до температуры от 80 до 100°C для проведения гидролиза 12. Продолжительность гидролиза составляет от 40 до 480 минут в зависимости от температуры и концентрации целлюлозы и гемицеллюлозы в исходном материале. После того, как прошло надлежащее время, скорость разложения гексоз и пентоз превышает скорость их образования. Таким образом, для увеличения выхода сахара важно прекратить по окончании надлежащего времени первую ступень гидролиза и удалить сахара, а затем произвести вторую стадию гидролиза для превращения оставшейся целлюлозы и гемицеллюлозы в сахара. После гидролиза раствор сахаров и кислоты отделяется от оставшегося твердого вещества предпочтительно путем прессования 15. Стадия гидролиза описана в приведенных ниже примерах 4-6.

### **Пример 4.**

К массе геля, полученного в примере 1, добавили 54,67 г воды для проведения гидролиза с уменьшенной до 30% концентрацией кислоты во всей смеси. Пробу подогревали до 100°C в течение 60 мин. Во время подогрева часть воды испарилась. Масса геля была подвергнута прессованию, выход составил 93 г жидкости, в том числе 17,1% сахаров и 35,52% кислоты.

### **Пример 5.**

После того, как масса геля, полученного в примере 2, была тщательно перемешана, к ней добавили 104,56 г воды для уменьшения до 30% концентрации кислоты во всей смеси. Пробу подогревали до 100°C в течение 60 мин. Масса геля была подвергнута прессованию, выход жидкости составил 188,9 г, в том числе 16,5% сахаров и 34,23% кислоты.

### **Пример 6.**

После того, как масса геля, полученного в примере 3, была тщательно перемешана, к ней добавили 162,62 г воды для уменьшения до 30% концентрации кислоты во всей смеси. Пробу подогревали до 100°C в течение 60 мин. Во время подогрева часть воды испарилась. Масса геля была подвергнута прессованию, выход жидкости составил 214,3 г, в том числе 17,6% сахаров и 36,85% кислоты.

После прессования оставшийся осадок, содержащий твердое вещество, промыли водой в количестве 170 г и вновь подвергли прессованию, после чего была получена жидкость, содержащая 16,3% кислоты и 8,92% сахаров, которая была использована для последующей промывки для увеличения выхода сахара.

### **Переработка диоксида кремния.**

В способе по изобретению очень выгодной является переработка материалов, содержащих высокие количества диоксида кремния. Этот способ показан на фиг. 3. Спрессованное твердое вещество 14, оставшееся после первого гидролиза, может быть обработано 5-10% гидроокисью натрия 16 для того, чтобы извлечь кремниевую кислоту 18. Эта стадия процесса не является обязательной и ее проводят в тех случаях, когда биомасса содержит большие количества диоксида кремния, например при переработке рисовой соломы или отходов очистки хлопка. После обработки гидроокисью натрия 16 твердое вещество сначала подогревают 16А, а затем прессуют 17 и промывают водой для удаления жидкости 18. Эту жидкость обрабатывают кислотой 19А для снижения pH, при этом образуется осадок 21, который отделяют предпочтительно фильтрованием 22. Отфильтрованный осадок отбеливают 19В для получения материала, который представляет собой чистый силикагель. Силикагель может быть подвергнут дальнейшей переработке для получения силиката натрия, силиката калия или других полезных материалов. Процесс извлечения диоксида кремния описан далее в примерах 7-9.

### **Пример 7.**

Осадок после гидролиза рисовой соломы, полученный как описано выше в примере 1, весом 499,75 г после прессования и выхода гидролизата сахаров, был обработан 5% раствором NaOH весом 659,8 г. Смесь нагревали до 80°C в течение 90 мин. Осадок подвергли прессованию и промывке водой. Было установлено, что величина pH всей полученной жидкости превышала 12. Жидкость была обработана концентрированной HCl для уменьшения величины pH до 10. Полученный легкий осадок был отделен фильтрацией. Далее было проведено отбеливание материала, оставшегося на фильтре, путем добавления 11 % раствора NaOCl для получения отбеленного материала, который представляет собой практически чистый силикагель. Материал, остающийся на фильтре, представляет собой диоксид кремния, который должен быть высушен до заданной влажности.

### **Пример 8.**

Осадок силикагеля, оставшийся на фильтре и полученный способом, приведенным в примере 7, был обработан гранулированным NaOH для получения силиката натрия. Анализ раствора силиката натрия при помощи FT-IR спектрометра показал, что выход диоксида кремния из осадка превышает 85%.

### **Пример 9.**

Осадок силикагеля, оставшийся на фильтре и полученный способом, приведенным в примере 7, был обработан гранулированным KOH для получения силиката калия со значительным выходом.

### **Вторичная декристаллизация и гидролиз.**

Для увеличения производительности по выходу сахаров, произведенных способом по настоящему изобретению, другим аспектом изобретения предусмотрена стадия вторичной декристаллизации и гидролиза. Твердые вещества, оставшиеся после первого гидролиза, или твердые вещества, оставшиеся после обработки гидроксидом натрия для извлечения диоксида кремния, высушивают 23. Сухие твердые вещества 24 смешивают с концентрированной серной кислотой 25 с концентрацией от 25 до 90%, чтобы провести вторичную декристаллизацию. Предпочтительная концентрация кислоты составляет от 70 до 77%. Обработка материала в течение того же времени, что и при первой декристаллизации, не является необходимой. Практически вторая стадия декристаллизации может проходить в течение тех нескольких минут, которые занимает смешивание кислоты и твердого материала. Вторая стадия декристаллизации также заканчивается образованием густого геля 26.

Концентрированную кислоту далее разбавляют предпочтительно до концентрации от 20 до 30%, для чего предпочтительно используют возвратную воду 27. Затем смесь подогревают для производства вторичного гидролиза. Образующийся гель 28 подвергают прессованию для получения вторичного потока кислоты и сахара 30, после чего потоки от двух стадий гидролиза смешивают. Оставшийся твердый материал собирают, и из него может быть изготовлено гранулированное топливо 29. Очень выгодно, что гранулирование богатого лигнином осадка помогает снизить количество отходов, полученных в результате реализации этого способа.

Стадии вторичной декристаллизации и гидролиза описаны ниже в примерах 10 и 11.

#### **Пример 10.**

Осадок, образованный в результате прессования после первой стадии гидролиза рисовой соломы, был собран и высушен до влажности 10%. Осадок, содержащий 41% целлюлозы и весящий 50,03 г, был перемешан с 33,28 г 77%  $H_2SO_4$  для достижения отношения чистой кислоты к целлюлозе 1,25:1. Осадок медленно добавляли к кислоте и перемешивали до тех пор, пока не был получен густой гель. Концентрация чистой кислоты в смеси составляла 30,75%; добавили еще 17,00 г воды для обеспечения конечной концентрации кислоты, равной 25,5%. Затем смесь подогревали до 100°C в течение 50 мин. После охлаждения гель был подвергнут прессованию и из него было извлечено 31,45 г жидкости, содержащей 18,2% сахара и 21,1% кислоты. Осадок, содержащий твердые вещества, оставшиеся после прессования, промыли 25 г воды, в результате чего был получен раствор, содержащий 15,2% сахара и 19,7% кислоты.

Спрессованный осадок был высушен до влажности примерно 10%. Установлено, что теплотворность этого осадка составляет 20003,6 кДж/кг. Этот топливный материал, который состоит в основном из лигнина с неизвлеченным сахаром, некоторых продуктов разложения сахаров и некоторого количества непрореагировавшей целлюлозы, горит исключительно хорошо, но в результате горения остается зола, которая содержит около 7% диоксида кремния.

#### **Пример 11.**

Осадок гидролиза рисовой соломы, оставшийся после удаления диоксида кремния, как показано на примере 7, вес которого составлял 500 г, был перемешан с 77 %  $H_2SO_4$  до достижения отношения чистой кислоты к целлюлозе 1,25:1. Осадок медленно добавляли к кислоте и перемешивали до образования густого геля. После этого добавляли воду до обеспечения концентрации чистой кислоты 25,5%. Затем смесь подогревали до 100°C в течение 50 мин. После охлаждения гель подвергли прессованию для извлечения жидкости, содержащей как сахар, так и кислоту. Осадок, содержащий твердые вещества, оставшиеся после прессования, промыли водой для получения вторичного раствора, содержащего сахар и кислоту.

После прессования осадок был высушен до влажности приблизительно 10%. Было показано, что теплотворность этого осадка составляет 20003,6 кДж/кг. Этот топливный материал, который состоит в основном из лигнина с неизвлеченным сахаром, некоторых продуктов разложения сахаров и некоторого количества непрореагировавшей целлюлозы, горит исключительно хорошо и содержание золы в результате горения составляет менее 1 %.

#### **Разделение кислоты и сахаров.**

В соответствии с другим аспектом изобретения предложен усовершенствованный способ разделения кислоты и сахара в гидролизате, произведенном при гидролизе кислотой материалов, содержащих целлюлозу и гемицеллюлозу. Как показано на фиг. 2, поток раствора сахара и кислоты 31 перерабатывается в устройстве для сепарации, которое представляет собой слой сильнокислотной смолы полистирола-дивинилбензола. Смола предпочтительно сшита дивинилбензолом, концентрация которого предпочтительно составляет от 6 до 8%, и обработана серной кислотой до получения величины обменной емкости, по крайней мере, 2 мг-экв/г. Ряд подобных смол имеется в продаже, к их числу относятся "DOWEX 40166", поставляемая фирмой Доу Кемикел, "Finex GS-16", поставляемая компанией Файнэкс, Финляндия, "Purolite PCR-771", поставляемая Пьюролайт Инк., "Bala Cynwid PA" и "IR-118", поставляемые компанией Роом и Хааз. Наиболее предпочтительным является использование смолы "DOW XFS 43281.01", поставляемой Доу Кемикел. Смола выполнена в виде шариков диаметром от 200 до 500 микрон. Скорость потока в слое смолы составляет от 2 до 5 м/ч, причем плотность слоя на различных участках составляет от 0,6 до 0,9 г/мл. Слой смолы должен быть подогрет, предпочтительно до температуры от 40 до 60°C. Могут быть использованы и более высокие температуры, но в результате этого произойдет преждевременное разрушение слоя смолы. Более низкие температуры могут привести к тому, что сепарация будет менее эффективной. Сахар адсорбируется в колонне при прохождении через нее раствора кислоты 32. После того, как кислота извлечена из адсорбента, смола может быть очищена газом, который практически не содержит кислород, то есть количество растворенного в газе кислорода не должно превышать 0,1 части на миллион. Действие этого газа заключается в том, что он вытесняет из смолы остатки кислоты и тем самым обеспечивает более высокую степень разделения.

После извлечения кислоты смолу промывают водой 34, которая практически не содержит кислорода. Количество кислорода, растворенного в воде, предпочтительно должно быть менее 0,5 части на миллион, или еще более предпочтительно 0,1 части на миллион. В результате этой промывки образуется поток сахара 33, содержащий как минимум 98 % сахаров в гидролизате, который был введен в установку для сепарации.

В результате процесса сепарации получают три потока: поток кислоты, поток сахара и поток смеси сахара с кислотой, который направляют в процесс вторичной сепарации. Поток кислоты 32 вновь концентрируют и возвращают для повторного использования, как будет более полно показано ниже. Поток сахара 33, который содержит предпочтительно по крайней мере 15% сахаров и не более, чем 3% кислоты, может потом при желании быть подвергнут сбраживанию. Чистоту сахара можно подсчитать в процентах к массе компонентов потока сахара, не содержащих воду. Все сахара с чистотой выше 83,3% ( $100 \times 15/18$ ) пригодны для сбраживания.

Наличие кислоты с концентрацией выше чем 3 % в потоке сахара не вызывает проблем при дальнейшей переработке. Однако изменение указанного соотношения сахара и кислоты при сепарации может уменьшить общие экономические показатели процесса.

Например, в идеальном процессе сепарации для извлечения из адсорбента 100 г пробы раствора, содержащего 30 г кислоты, 15 г сахара и 55 г воды из сепарационной колонны, должны быть использованы 100 г воды. В случае точной сепарации поток сахара будет содержать 15 г сахара и 85 г воды. При этом должно остаться 30 г кислоты и 70 г ( $100+55-85$ ) воды для получения кислоты той же концентрации, 30%, как и в первоначальном растворе.

Однако фактически для извлечения пробы весом 100 г раствора, указанного выше, нужно добавить в колонну 200 г воды. Поток сахара по прежнему составляет 15%, но в этом случае поток кислоты содержит 170 г ( $200+55-85$ ) воды и 30 г кислоты, в результате чего концентрация кислоты составляет 15%. Таким образом, если чистота потока кислоты составляет 95% при концентрации кислоты 15%, в каждом процессе извлечения будет потеряно вместе с кислотой около 1,5 г сахара. Если чистота потока сахара составляет 95%, при концентрации 15 % в каждом процессе извлечения будет потеряно 0,75 г кислоты. Эта разница определяется тем обстоятельством, что поток кислоты содержит вдвое больше материала. Таким образом, чистота потока кислоты является более важным параметром, чем чистота потока сахара.

Сепарация кислоты и сахаров объясняется в приведенных ниже примерах 12-19.

#### **Пример 12.**

Поток кислоты и сахара, произведенный путем гидролиза материалов, содержащих целлюлозу и гемицеллюлозу, разделялся, проходя через стеклянную колонну диаметром 50 см и объемом 1,2 л, заполненную PCR-771, сильнокислотной катионообменной смолой, поставляемой фирмой Пьюролайт Инк. В колонне поддерживалась температура 60°C, скорость потока, определенная по расходомеру, была равна 70 мл/мин, что составляет линейную скорость около 0,8 м/ч. Выходящие материалы собирались в три потока: поток кислоты, поток сахара и поток смеси для повторного разделения в другом слое смолы. Чистота потока кислоты составляла 96,8% (кислота плюс вода). Чистота потока сахара составляла 86,8% (сахар плюс вода). Полное извлечение кислоты составляло 97,3%, извлечение сахара 95,5%.

#### **Пример 13.**

Поток жидкого гидролизата, произведенного путем гидролиза кислотой материалов, содержащих целлюлозу и гемицеллюлозу, разделялся, проходя через стеклянную колонну диаметром 50 см и объемом 1,2 л, заполненную PCR-771, сильнокислотной катионообменной смолой, поставляемой Пьюролайт Инк. В колонне поддерживалась температура 40°C, скорость потока, определенная по расходомеру, составляла 70 мл/мин. Выходящие материалы собирались в три потока: поток кислоты, поток сахара и поток смеси для повторного разделения в другом слое смолы. Чистота потока кислоты составляла 95,1 % (кислота плюс вода). Чистота потока сахара составляла 93,1 % (сахар плюс вода). Полное извлечение кислоты составило 96,8%, извлечение сахара 90,6%.

#### **Пример 14.**

Жидкий гидролизат, содержащий 34,23%  $H_2SO_4$  и 16,5% сахара, разделялся, проходя через стеклянную колонну диаметром 50 см и объемом 1,2 л, заполненную PCR-771, сильнокислотной катионообменной смолой, поставляемой Пьюролайт Инк. В колонне поддерживалась температура 60°C, скорость потока, определенная по расходомеру, составляла 70 мл/мин. Выходящие материалы собирались в три потока: поток кислоты, поток сахара и поток смеси для повторного разделения в другом слое смолы. Чистота потока кислоты составляла 96,47% (кислота плюс вода). Чистота потока сахара составляла 92,73 % (сахар плюс вода). Полное извлечение кислоты составляло 97,9%, извлечение сахара 95%.

#### **Пример 15.**

Жидкий гидролизат, полученный путем гидролиза газетной бумаги, содержащий 31,56% кислоты и 22,97 % сахара, разделялся, проходя через стеклянную колонну диаметром 50 см и объемом 1,2 л, заполненную PCR-771, сильнокислотной катионообменной смолой, поставляемой Пьюролайт Инк. В колонне поддерживалась температура 40°C, скорость потока, определенная по расходомеру, составляла 70 мл/мин. Выходящие материалы собирались в три потока: поток кислоты, поток сахара и поток смеси для повторного разделения в другом слое смолы. Чистота потока кислоты составляла 96,7 % (кислота плюс вода). Чистота потока сахара составляла 90,9 % (сахар плюс вода). Полное извлечение кислоты составляло 99,5%, извлечение сахара 96,7%.

#### **Пример 16.**

Жидкий гидролизат, полученный путем гидролиза газетной бумаги, содержал 31,56% кислоты и 22,97% сахара. Одна порция жидкости разделялась, проходя через стеклянную колонну диаметром 50 см и

объемом 1,2 л, заполненную "Finex GS-16", сильнокислотной катионообменной смолой, поставляемой фирмой Файнэкс, Финляндия. В колонне поддерживалась температура 60°C, скорость потока, определенная по расходомеру, составляла 70 мл/мин. Вторая порция жидкости разделялась, также проходя через стеклянную колонну диаметром 50 см и объемом 1,2 л, заполненную "Finex GS-16". В колонне поддерживалась температура 40°C, скорость потока, определенная по расходомеру, составляла 70 мл/мин. В обоих случаях выходящие материалы собирались в три потока: поток кислоты, поток сахара и поток смеси для повторного разделения в другом слое смолы. Чистота потока кислоты составляла по крайней мере 90% (кислота плюс вода). Чистота потока сахара составляла 94% (сахар плюс вода).

#### **Пример 17.**

Гидролизат, содержащий 15 % сахара и 30% кислоты, разделялся, проходя через стеклянную колонну диаметром 50 см, объемом 1,2 л, заполненную смолой "DOW XFS 43281.01", поставляемой "Доу Кемикел". В колонне поддерживалась температура 60°C, скорость потока по расходомеру составляла 65 мл/мин. После добавления гидролизата колонна была промыта кипяченой и охлажденной дистиллированной водой. Чистота потока кислоты составляла 97,0%; чистота потока сахара 97,2%. Величина набухания между фазами кислоты и воды на смоле составляла 2,48%.

При повторной добавке того же гидролизата в колонну с последующей промывкой были извлечены практически вся кислота и весь сахар, причем извлечение сахара составило более 99,1%, чистота сахара 97,2 %, чистота кислоты 92,3 %. Скорость промывки в ходе сепарации составила 65 мл/мин.

#### **Пример 18.**

Устройство AST LC1000 с вращающимся слоем смолы, изготовленное фирмой Эдвансд Сепарейшн Текнолоджиз, Инк., было использовано для разделения смесей сахара и кислоты.

Устройство состояло из 20 колонн, в каждой колонне содержался слой смолы объемом 2 л. Колонны были заполнены смолой "Finex GS-16" с температурой 60°C. При продолжительности работы, равной 8 часам, исходный материал содержал 14,89% сахара и 23,79% кислоты. Скорость промывки адсорбента составила 244 мл/мин, что соответствует линейной скорости 0,12 м/мин или 7,3 м/ч. Чистота сахара была равна 94,6% и чистота кислоты 92,4%. Извлечение сахара составило 84 % при концентрации 13,9%. Извлечение кислоты составило 97,5% при концентрации 7,5%.

#### **Пример 19.**

Устройство AST LC1000 с вращающимся слоем смолы, изготовленное фирмой Эдвансд Сепарейшн Текнолоджиз, Инк., со слоем смолы общим объемом 15,2 л было использовано для разделения смесей сахара и кислоты. Колонны были заполнены смолой "Purolite PCR-772". Исходный материал содержал 12,6% сахара и 18,9% кислоты. Скорость промывки адсорбента составила 117 мл/мин. Чистота сахара в потоке сахара составила 92,4% и чистота кислоты 92,1%, при этом температура в колонне 60°C.

#### **Повышение концентрации и повторное использование кислоты**

Раствор кислоты 32, извлеченный из установки для сепарации, может быть после повышения концентрации направлен для повторного использования на более ранние стадии способа по изобретению. При использовании стандартного одноступенчатого испарителя 36 достигают повышения концентрации кислоты вплоть до 35%. Предпочтительным является использование трехступенчатого испарителя, поставляемого фирмой Кемитрикс, Торонто, Онтарио, Канада, который дает возможность повысить концентрацию до 70 - 77%. Вода, полученная в концентраторе, может быть использована как вода для промывки адсорбента в установке для сепарации со слоем смолы.

#### **Сбраживание.**

В соответствии с другим аспектом изобретения предложен улучшенный способ сбраживания потока сахара, отделенного после гидролиза кислотой материалов, содержащих целлюлозу и гемицеллюлозу. Поток сахара содержит как гексозы, так и пентозы. Эти сахара могут быть подвергнуты сбраживанию одновременно при использовании микроорганизмов, встречающихся в природе. Преимуществом этого способа является возможность избежать разделения этих сахаров или проведения процесса в две стадии.

В растворе сахара 33, извлеченном из установки для сепарации, после гидролиза кислотой, могут сохраняться остатки кислоты. Кислоту необходимо сначала нейтрализовать 37, предпочтительно гашеной известью, для достижения значений pH от 10 до 12. При такой величине pH успешно удаляются все следы ионов металлов, которые могут оказать влияние на процесс последующей переработки. На этом этапе добавляются вещества 40, такие как магний, азот, фосфат калия и витамины, которые содействуют росту микроорганизмов.

В соответствии с одним из важных аспектов изобретения при желании можно подвергать сбраживанию сахара C5 и C6 одновременно. Нами было установлено, что некоторые дрожжи 43, выращенные определенным способом, могут производить сбраживание обоих этих видов сахаров. Мы установили, что *Candida kefir*, *Pichia stipitis* и штаммы с респираторной недостаточностью, в том числе *Saccharomyces cerevisiae*, эффективно применимы при температурах 25-32°C в том случае, если они до этого были выращены на растворах пентозы в течение 1-2 недель до использования на смеси сахаров.

При желании производить сбраживание гексозы отдельно, с целью извлечения пентозы для использования в других целях, можно применить известные дрожжи глюкозы, такие как *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluveromyces shehatae* (вар. *shehatae*, *lignosa* и *insectosa*). Определенные виды бактерий также производят продукты, полезные для брожения, и могут быть использованы в соответствии со способом, изложенным в изобретении. К этим бактериям относятся виды *Clostridium* и *Symomonas mobilis*.

В случаях, когда брожение под действием дрожжей или бактерий замедляется под действием этанола или других испаряющихся продуктов, эти испаряющиеся продукты брожения можно непрерывно удалять путем рециркуляции двуокиси углерода, образующейся при брожении, через охлаждаемую кон-



денсационную колонну и последующей повторной подачи двуокиси углерода в ферментёр. Испаряющиеся компоненты вместе с частью воды конденсируются в колонне и могут быть собраны для дальнейшей очистки. К преимуществам процесса также относится эффективное охлаждение ферментёра, которое требуется для активизации брожения.

После окончания процесса брожения, который продолжается 3-5 дней, продукты брожения и микроорганизмы разделяют, предпочтительно путем центрифугирования 41. Микроорганизмы 43 могут быть повторно использованы для переработки следующей партии сахаров. Спиртовой раствор 44 может быть направлен в дистилляционную колонну 46 для дальнейшей переработки.

Предпочтительные способы сбраживания изложены далее в примерах 20, 21.

#### **Пример 20.**

Растворы сахара, полученные из сепарационных колонн, заполненных смолой, после нескольких переработок собирали и нейтрализовали с помощью  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  до значений pH от 10 до 11. Раствор профильтровали для разделения  $\text{CaSO}_4$  (гипса) и прозрачной желтоватой жидкости - раствора сахара. Величина pH раствора сахара была понижена до pH, равного 4,5, путем использования смеси концентрированной фосфорной кислоты и серной кислоты. Фосфорная кислота была добавлена первой со скоростью подачи 0,3 г/л  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Затем был добавлен ряд веществ перед нейтрализацией, однако при этом раствор оставался стерильным благодаря высокой величине pH. В состав питательной среды включают 0,07 г/л  $\text{MgSO}_4$ , 0,2 г/л  $\text{KNO}_3$ , 0,5 г/л мочевины, 1,0 г/л экстракта дрожжей, 0,1 мг/л  $\text{FeNaEDTA}$ , 0,01 мг/л  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0,04 мг/л  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 0,02 мг/л  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,003 г/л  $\text{KI}$ , 1 мкг/л  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 0,1 мкг/л  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и 0,1 мкг/л  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Раствор был затем помещен в ферментёр, где уже содержались *Candida kefir* (ATCC 8619), *Pichia stipitis* (NRRL Y-7124), *Hansenula anomala* (ATCC 42398), *Hansenula anomala* (ATCC 8168), *Hansenula fabianii* (ATCC 16755), *Hansenula jadinii* (ATCC 18201) или штаммы с респираторной недостаточностью вида *Saccharomyces cerevisiae*, которые были предварительно выращены в среде 5% раствора ксилозы. Дрожевой "крем" в ферментёре содержит по крайней мере 20 г дрожжей приблизительно в каждом 100 мл из общего объема ферментёра 2 литра. Добавляются приблизительно 200 мл раствора. Добавление повторяют каждый день в течение трех дней. Под действием дрожжей происходит брожение раствора, содержащего как сахара C5, так и сахара C6.

#### **Пример 21.**

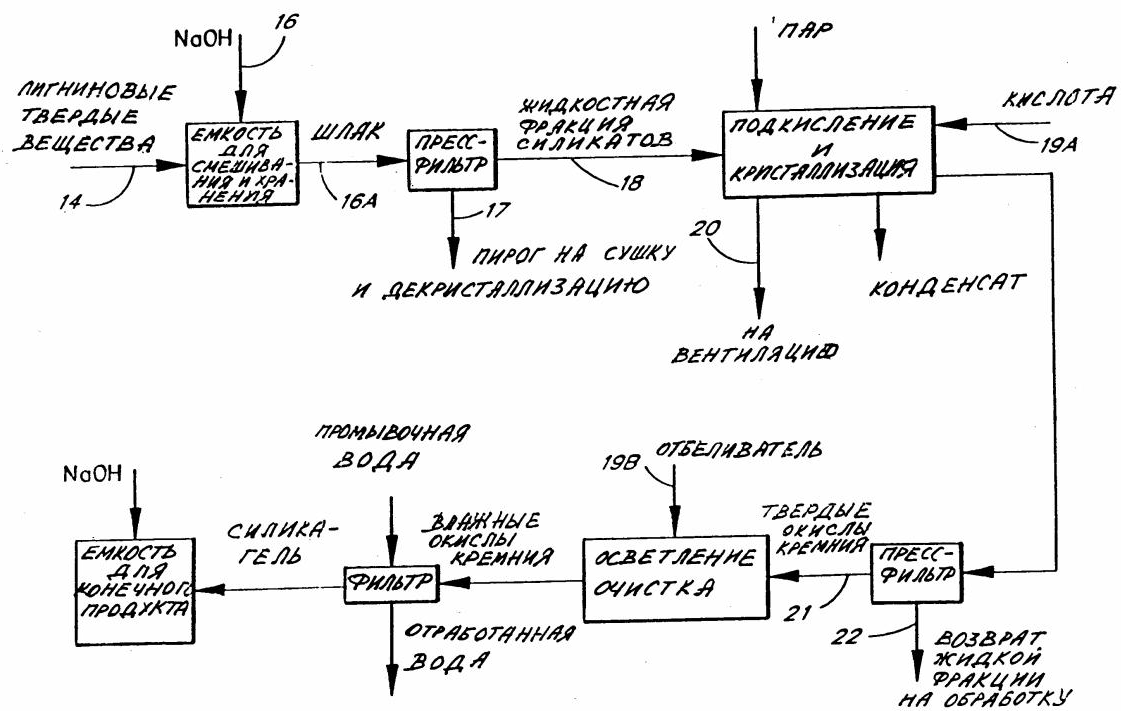
Растворы сахара, полученные из колонн, заполненных смолой, собирали и нейтрализовали при помощи  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  до значений pH от 10 до 11. Раствор профильтровали для разделения  $\text{CaSO}_4$  (гипса) и прозрачной желтоватой жидкости - раствора сахара. Величина pH раствора сахара была понижена до pH, равного 4,5, путем использования смеси концентрированной фосфорной кислоты и серной кислоты. Фосфорную кислоту добавляли первой со скоростью подачи 0,35 г/л  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Затем перед нейтрализацией добавляли ряд веществ, однако раствор оставался стерильным благодаря высокой величине pH. В состав питательной среды включают 0,07 г/л  $\text{MgSO}_4$ , 0,2 г/л  $\text{KNO}_3$ , 1,0 г/л  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 1,0 г/л экстракта дрожжей, 5,0 мг/л  $\text{FeSO}_4$ , 1,0 мг/л  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 5,0 мг/л  $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 10 мкг/л  $\text{CuSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 20 мкг/л  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 10 мкг/л биотина, 0,25 г/л пиридоксина  $\text{HCl}$ , 1,5 мг/л *i*-инозитола, 2,0 мг/л пантотената  $\text{Ca}$ , 5,0 мг/л тиамина  $\text{HCl}$  и 25 мг/л пептона.

Раствор затем был помещен в ферментёр, где уже содержались *Candida kefir* (ATCC 8619), *Pichia stipitis* (NRRL Y-7124), *Hansenula anomala* (ATCC 42398), *Hansenula anomala* (ATCC 8168), *Hansenula fabianii* (16755), *Hansenula jadinii* (ATCC 18201) или штаммы с респираторной недостаточностью вида *Saccharomyces cerevisiae*, которые были предварительно выращены в среде 5% раствора ксилозы. Дрожевой "крем" в ферментёре содержит по крайней мере 20 г дрожжей приблизительно в каждом 100 мл из общего объема ферментёра 2 литра. Добавляются приблизительно 200 мл раствора. Добавление повторяют каждый день в течение трех дней. Под действием дрожжей происходит брожение раствора, содержащего как сахара C5, так и сахара C6.

Кислоту  $\text{H}_3\text{BO}_3$  при желании можно не добавлять к среде. Если для сбраживания применяют бактерии, которые являются более предпочтительными, чем дрожжи, эту кислоту добавлять нельзя, поскольку бор токсичен по отношению к бактериям.

Несмотря на то, что для иллюстрации сущности и описания данного изобретения использован целый ряд примеров, подразумевается, что объем изобретения не ограничен приведенными здесь отдельными примерами. Соответственно, объем изобретения ограничивается только пунктами патентной формулы, приведенной далее.





Фиг. 3

---

Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»  
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101  
(03122) 3 – 72 – 89      (03122) 2 – 57 – 03

---