

Введение Конверсия полисахаридов растительного сырья в моносахариды решает важные задачи переработки и утилизации сельскохозяйственных отходов и способствует производству новых продуктов для химической промышленности и биотехнологии. Сахарная свекла - важнейшая техническая культура, сырье для сахарной промышленности. Основным объемом сахарной свеклы, выращиваемой в России, перерабатывается на российских сахарных заводах. Более 40% посевов сахарной свеклы в мире приходится на Россию [1].

Общий объем производства сырого свекловичного жома в 2013 году составил 31 млн. 855 тыс. тонн. Из них 17 млн. 741 тыс. тонн производят в Центральном федеральном округе, что составляет 55,7 % от всего производства в стране, а также в Южном федеральном округе 8 млн. 103 тыс. тонн (25,4 % всего производства) и Приволжском федеральном округе 4 млн. 820 тыс. тонн (15,1 % всего производства) [2]. Таким образом, предприятия, перерабатывающие сахарную свеклу, в основном сосредоточены в трёх федеральных округах. Свекловичный жом - побочная продукция переработки сахарной свеклы. Свекловичный жом обладает высокой кормовой ценностью. Его скармливают сельскохозяйственным животным в свежем и консервированном виде. Однако в свежем виде может скармливаться не более 30-40 % выработанного жома. Несмотря на высокое содержание углеводов, жом не удовлетворяет даже минимальных потребностей животных в азотистых веществах и витаминах ввиду низкого содержания сырого протеина (до 3 % от содержания сухих веществ) и неудовлетворительного соотношения кальция и фосфора [3, 4]. Свекловичный жом может включаться в комбикорма как один из компонентов, однако, высокая стоимость транспортировки, а также низкие сроки хранения не позволяют использовать свежий жом в полном объеме. Известно, что продукты конверсии полисахаридов свекловичного жома могут применяться для производства биоэтанола, кормовых дрожжей, лизина и др. В России свекловичный жом является одним из наиболее перспективных вторичных ресурсов сельскохозяйственного производства и перерабатывающей промышленности. В последнее время в ряде исследований установлено, что за счет предварительного гидролиза растительных культур разбавленными кислотами можно достичь высоких скоростей реакций и значительно улучшить дальнейший ферментативный гидролиз целлюлозы, входящей в состав растительного сырья. Основными факторами, влияющими на эффективность обработки биомассы, являются тип биомассы и кислоты, концентрация кислоты, продолжительность и температура реакции. В процессах с более высокой температурой характерно сокращение оптимального времени гидролиза и увеличение максимальной концентрации моносахаридов в гидролизатах. Температура процесса в большей степени способствует гидролизу, чем разложению. Это означает, что на практике должны быть применены максимально возможные температуры. Верхний предел температуры ограничен только практическими факторами

такими, как давление в реакторе и возможность контролировать короткое время реакции. В исследованиях химического гидролиза свекловичного жома, проводимых на кафедре Химической кибернетики ФГБОУ ВПО «КНИТУ» [5-7] конструктивные особенности применяемой установки капсульного типа с масляным термостатом не позволили авторам проводить гидролиз при температурах выше 190°C. Целью настоящей работы являлось изучение кинетики гидролиза свекловичного жома сернистой кислотой при температурах свыше 200°C. Экспериментальная часть В работе проводили исследование свекловичного жома, полученного на ООО «Буинский сахарный завод», (г. Буинск, 2013-2014 г.). Свекловичный жом измельчению и высушиванию не подвергался. В работе исследован свежий свекловичный жом, который представлял собой мелкую обессахаренную стружку длиной 15-20 мм, толщиной 2-3 мм. Зольность данного сырья составила $3,61 \pm 0,24$ % от массы АСВ жома. Влажность свекловичного жома составила $80,26 \pm 0,35$ % от массы сырья. Содержание редуцирующих сахаров определяли методом Макэна-Шоорля [8]. Гидролиз свекловичного жома проводился на следующих установках: гидролизер капсульного типа с масляным термостатом; гидролизер капсульного типа с металлическим тепловым аккумулятором [9, 10]. Достоинством данных установок является возможность отбора проб реакционной массы в динамике, что позволяет оценить вклад временного фактора на выход углеводов и выявить оптимальную продолжительность процесса гидролиза. Основные характеристики капсул экспериментальных установок представлены в таблице 1.

Тип гидролизера	Высота капсул, мм	Диаметр капсул, мм	Толщина стенки, мм	Материал капсул	Диапазон рабочих температур, °С
с масляным термостатом	105	19,7	2,45	Пищевая нержавеющая сталь	100-190
с металлическим тепловым аккумулятором	158	18,9	2,35	Как следует из таблицы 1, помимо	190-230

Как следует из таблицы 1, помимо диапазона рабочих температур и способа нагрева, установки, применяемые в исследованиях, отличались конструктивными особенностями капсул. В исследованиях, проводимых ранее [5-7], изучена кинетика гидролиза свекловичного жома сернистой кислотой в диапазоне температур 160-190°C на гидролизере капсульного типа с масляным термостатом. Для сопоставления экспериментальных данных нами был повторно проведен гидролиз свекловичного жома при температуре 190°C, а также изучена кинетика гидролиза данного вида сырья при 200 °С на гидролизере капсульного типа с масляным термостатом (рис. 1) при концентрации сернистой кислоты (1 % масс.) и гидромодуле (1:3), определенных в качестве оптимальных в предыдущих исследованиях. Как следует из графиков, представленных на рисунке 2, при обработке свекловичного жома на гидролизере капсульного типа с масляным термостатом повышение температуры на 10 °С способствует росту концентрации редуцирующих веществ в гидролизате. Максимальная

концентрация редуцирующих веществ в процессе гидролиза свекловичного жома при температуре 190 и 200 °С составила 8,54 % и 8,76 % соответственно. При исследовании кинетики гидролиза на гидролизере капсульного типа с масляным термостатом для быстрого выхода температуры на заданный режим все капсулы одновременно погружали в предварительно перегретую на 10 °С ёмкость с силиконовым маслом. В момент погружения капсул на терморегуляторе устанавливали изучаемую температуру. Перегрев теплоносителя, необходимый для быстрого выхода уставки на заданный режим, был подобран экспериментально. Однако диапазон рабочих температур не позволил предварительно нагреть термостат до 210 °С. Этим объясняется увеличение продолжительности гидролиза необходимого для достижения максимальной концентрации редуцирующих веществ при 200°С. Рис. 1 - Изменение концентрации редуцирующих веществ в процессе гидролиза свекловичного жома при температуре 190 и 200°С (гидромодуль 1:3, концентрация сернистой кислоты 1% масс.) на гидролизере капсульного типа с масляным термостатом В связи с этим дальнейшее исследование процесса гидролиза свекловичного жома при более высоких температурах проводилось на гидролизере с металлическим тепловым аккумулятором (табл. 2). Исследовано влияние температуры на концентрацию РВ в диапазоне температур 190-230°С при гидромодуле 1:3 и концентрации сернистой кислоты 1 % масс. Из таблицы 2 следует, что при температурах 190°С и 200°С концентрация редуцирующих веществ в гидролизатах, полученных на гидролизере с металлическим тепловым аккумулятором ниже, чем в гидролизатах, полученных при тех же режимах на гидролизере с масляным термостатом. Таблица 2 - Концентрация редуцирующих веществ в гидролизатах, полученных на гидролизере капсульного типа с металлическим тепловым аккумулятором

Продолжительность гидролиза, мин	Температура, °С	190	200	220	230	3	...	...	...
5,58	5	5,07	6,53	7,50	5,83	10	6,71	5,67	3,80
2,93	15	...	5,15	2,21	1,63	20	...	4,98	1,77
1,54	...	...	...	...	...	...	...	...	...

- в данных точках измерения не проводились Это может быть связано с конструктивными особенностями капсул, применяемых в гидролизерах, и принципом обогрева капсул (рис. 2). а б

Рис. 2 - Общий вид капсул для исследования кинетики процессов гидролиза: (а) гидролизер капсульного типа с масляным термостатом; (б) гидролизер капсульного типа с металлическим тепловым аккумулятором В целом, проведенные исследования высокотемпературного гидролиза свекловичного жома позволяют сделать вывод, что при подъеме температуры выше 220°С возрастает скорость распада сахаров, что приводит к снижению концентрации редуцирующих веществ в гидролизатах.