

Изучение условий высушивания сахарной свекловицы в целях ее переработки в сахарной промышленности.

Свеклосахарное производство, объединяя в себе сельское хозяйство, крупный капитал и многообразные проявления промышленности, как-то: каменноугольной, машиностроительной, транспорта и т. д., является мощным фактором экономического развития страны. Значение свеклосахарного производства с первых же лет его существования было правильно понято и по достоинству оценено государственной властью различных стран, наукой и частным капиталом, неизменно всюду уделявшими много интереса, внимания и поддержки этой новой отрасли промышленности, способствуя тем ее быстрому росту и развитию. В настоящее время свеклосахарная промышленность, вылившись в форму современного сахарного завода со средней суточной производительностью 3—4000 берков. свеклы, глубоко захватывает местное сельское хозяйство, способствуя его высокому подъему. Однако, территориально такое влияние современного сахарного завода чрезвычайно ограничено. Главные причины этого лежат в свойствах перерабатываемого сырья—сахарной свеклы. Как известно, последняя содержит около 75% воды. При таких условиях доставка свеклы с места ее посева к заводу связана с крупной непроизводительной тратой на перевозку около четверного, сравнительно с содержащимся в свекле сахаром, количества воды.

Помимо этого, высокое содержание воды делает свеклу продуктом скоропортящимся. При благоприятных условиях хранения, свекла все же неизменно теряет часть сахара. При чем в лучшем случае эта потеря за месяц колеблется около одного процента по весу свеклы, т. е. за 2—3 месяца хорошего хранения в благоприятных условиях свекла теряет до 17% от первоначального содержания в ней сахара.

При перевозке гужем или по железной дороге, при лежании на пунктах перед погрузкой, при перегрузках сахарная свекла несет потери несравненно больше, чем при заводском хранении в буртах.

В виду отмеченных особенностей свеклы современное сахарное производство принуждено быть сезонным с очень короткой, в 2—3 месяца компанией, после чего завод в течение 10—9 месяцев бездействует. При таком положении основной капитал, вложенный в предприятие, эксплуатируется весьма слабо, накладные же расходы сильно возрастают.

Стремление увеличить одновременную нагрузку завода за счет расширения обслуживающей данный завод территории дальними свекловичными посевами также встречает непреодолимые преграды за пределами очень небольшого расстояния от завода. По данным агронома А. П. Корхова, на основании практических данных крупных имений Харьковской губ. за 1910—1914 г. г. ¹⁾, уже на расстоянии 5 верст перевозок гужем сахарной свеклы по хорошей грунтовой дороге, стоимость составляет около 15% валовых затрат по этой культуре, включая сюда накладные и общие расходы, или около 33% от

¹⁾ Корхов — „Роль крупных и мелких хозяйств в снабжении сахарных заводов свеклой“. 96 стр.

прямых затрат. С увеличением расстояния эта стоимость возрастает примерно так в % валовой затраты:

при расстоянии 5 верст	15%
» » 10 »	25%
» » 20 »	40%
» » 30 »	50%

т. е., при доставке свеклы за 30 верст, расходы по перевозке составляют полсвину всей годовой валовой затраты и значительно превышают сумму всех остальных прямых расходов по культуре сахарной свеклы.

Некоторую поправку, хотя и не особенно значительную, вносит в возможности современного свеклосахарного завода расположение его непосредственно на линии железной дороги. При этом сфера втягивания свеклы заводом возрастает за счет свеклы, доставляемой с отдельных погрузочных пунктов железной дороги, являющихся как бы почками уже существующего центра свеклосеяния, оплодотворенного заводом. Однако, это положение несколько не ослабляет, но даже способствует при затыгивании компании увеличению потерь сахара в хранимой свекле.

Таким образом, вынужденная кратковременность работы свеклосахарного завода и чрезвычайная ограниченность сферы его захвата окружающей земледельческой территории являются характерной особенностью современных свеклосахарных заводов. При чем, эти отличительные черты в то же время составляют наиболее слабые стороны свеклосахарной промышленности, резко ограничивая ее дальнейший рост и распространение.

Главная причина этого лежит, как уже было выяснено, и в чрезмерной влажности свежей свеклы. В связи с этим естественно возникает мысль о возможности обезвоживания свеклы непосредственно после ее сбора в целях удешевления доставки в заводу и успешного сохранения до заводской переработки без неизбежных для свежей свеклы потерь сахара при хранении.

Способ сохранения свеклы высушиванием ее предлагался в Германии Schützenbach'ом еще в 1850 году.

После этого указанная идея от времени до времени привлекала к себе интерес отдельных исследователей. Появляются также отдельные патентные заявки как за границей, так и в России на сушку сахарной свеклы. Однако, не только практического применения, но даже интереса со стороны сахарных заводов эта идея до текущего столетия не возбуждала.

Как представляется практическое приложение метода высушивания свеклы к условиям заводской работы, дают представление отдельные патенты, например, по патенту братьев Зорграфоса ¹⁾. Их способ сохранения сахарной свеклы таков: свекловичные стружки подвергаются обработке сернистой кислотой, или парами формальдегида, или т. п. веществами, после чего стружка высушивается непосредственно на открытом воздухе до содержания 10% воды. После этого, так подсушенная стружка окончательно обезвоживается в паровом сушильном аппарате при 80—90°.

По патенту Сополько свекловичная стружка по выходе из свеклорезки подвергается действию сернистого газа, растворяющегося на холоду в соке разрезанных клеток свеклы. После этого стружка направляется в сушильный прибор, где она теряет до 50% воды по весу.

По выходе из сушилки стружка обрызгивается раствором фтористого натрия. При такой обработке стружка, по словам автора этого патента, может очень долго сохраняться без порчи и потерь сахара.

Теоретиков сахарной промышленности в идее переработки сушеной свеклы преимущественно интересовали возможные изменения сахара и вообще сухого

¹⁾ „Привилегия на способ сохранения свеклы Зорграфоса“ 1906 г. 31 стр.; Н. З. Э. И. С. Пр. 1927 г. VIII в 254 стр. Бенив.

вещества, входящего в состав массы свекловичного корня, а также связанные с этим потери.

А. Herzfeld и Schrefeld¹⁾, работая со свеклой, превращенной на терке в мязгу, высушивали последнюю при 108° в вакууме, а также на воздухе при 70°, 100°, 120° и 160°. При этом было найдено, что количество сухой мякоти, получавшейся из высушенной стружки вымыванием из нее всего растворимого холодной и затем горячей водой, меняется в зависимости от температуры высушивания. Наименьшее количество получается высушиванием при 100°. С повышением температуры до 130° количество сухой мякоти возрастает на 32%, а при 160° на 35% против ее количества, получаемого из стружки, высушенной при 100°. Понижение температуры сушки до 70° вызывает также увеличение нерастворяющейся массы мякоти на 40% против ее количества, отвечающего высушиванию свеклы при 100°.

Явление это, по мнению исследователей, стоит в связи с переходом в зависимости от температуры высушивания или нерастворимой мякоти свежей свеклы в растворимые соединения, или обратно-переходом в нерастворимое состояние некоторых составных веществ клеточного сока свеклы. Что касается отношения к процессу сушки чистой отмытой свекловичной мякоти, то таковая стойко выносит, количественно и качественно почти не меняясь, даже продолжительное высушивание при высоких температурах, напр., до 167° в течение 15 часов. При высушивании чистой свекловичной мякоти в присутствии сахара, она разлагается значительно легче, и явление это начинается уже при более низких температурах, что обуславливается, по мнению исследователей, взаимодействием мякоти и сахара в условиях сушки.

Classen²⁾ отмечает, что при высушивании свеклы идут процессы разложения ее вещества.

Н. Караваев и А. Палкин останавливаются на вопросе о том, «не произойдет ли при сушке свеклы уменьшения выхода сахара вследствие возможной инверсии, а с другой стороны, не приобретет ли сушеная свекла свойств, затрудняющих диффундирование из нее сахара». Опыты их велись непосредственно на солнце, а также при температуре 60° и 100°. Полученные данные приводят авторов исследования к тому, что в смысле потерь, имеющих место при высушивании, препятствий к работе на сушеной свекле нет.

В одной из последних работ, произведенных в том же направлении Г. Бениным³⁾ в Киевском Гос. Экспериментальном Институте сахарной промышленности, судя по словам исследователя, ставится задача—«установить наиболее благоприятные условия для процесса высушивания свеклы». Температура сушки берется в этом случае в 100 и 120°. Продолжительность сушки колеблется от 12 до 1 часу. Полученные выводы сводятся к следующему:

1) потери сахара при высушивании свекловичной стружки тем больше, чем продолжительность высушивания длительнее; при 12 часах потери отвечают 1.82% сахара, при часовой сушке они снижаются до 0.1%.

2) Большему разложению сахара соответствует и большее накопление инвертного сахара, но степень накопления последнего не соответствует количеству потерянного сахара, что указывает на дальнейшее разложение образующегося сахара.

3) Высушивание возможно вести при температурах выше 100°, но при этом необходимо тщательно следить за состоянием стружки во время сушки, так как передерживание последней после того, как из нее удалена вся вода, влечет за собой увеличенную потерю сахара.

1) Z. f. Z. Ind. 1915 г. 211 стр.

2) Z. 1926 г. 627—8 стр., цит. по Н. З. Г. Э. И. С. Пр. 1927 г. 257 стр.

3) З. Г. Э. И. С. Пр. 1927 г. IV т. 253 стр.

4) Качество стружки при высушивании, особенно при температурах выше 100° , имеет весьма важное значение. Мязги должно быть минимальное количество, так как последняя скорее высушивается, чем остальная масса стружки, и потому может пригорать.

5) Наиболее благоприятными условиями для извлечения и определения сахара из высушенной свеклы по методу горячей водной дигестии является $85-90^{\circ}$ с продолжительностью дигестирования 60 минут.

В двадцатых годах текущего столетия в Италии начинает проявляться промышленный интерес к возможности переработки заводским путем свеклы, высушенной по методу de Vecchis¹⁾. В связи с этим в 1924 г. несколько южнее Венеции в Лорео устраивается сахарный завод, назначение которого — доказать экономическую целесообразность указанного метода.

Завод финансируется соседними посевицами свеклы. Производительность завода 100.100 тонн свеклы ежегодно. Сушка производится током нагретого воздуха. Свекловичная стружка последовательно проходит шесть ситчатых пассивов, расположенных в камерах. Нагретый до 130° воздух направляется под верхний пассив со свежей стружкой, где она, медленно продвигаясь, остается 20 минут и нагревается до 130° . По достижении конца этого пассива она падает на ближайший нижний пассив. Последний, как и 4 ниже лежащих, движется с половинной скоростью сравнительно с первым пассивом.

Температура воздуха последовательно меняется. Идя в направлении от верхнего к нижнему пассиву, температура воздуха на отдельных пассивах определяется так: $130, 120, 110, 70, 80$ и 90° .

Видимо, четвертый и пятый пассив представляются охлаждающими стружку, так как уходя с последнего пассива стружка имела температуру 90° при влажности до 5%. Все приводимые сведения о заводе в Лорео заимствованы из доклада комиссии Боудена, Гудвига и Оуэна, командированной из Англии министерством земледелия и рыболовства в Италию для ознакомления со способом сахарного производства в условиях заводской работы по методу.

По другим источникам описаний того же метода сушки свекловичной стружки, встречающихся в литературе, можно найти у различных авторов этих описаний иные температуры сушки, так Teseni²⁾ дает $80-100^{\circ}$, Sani³⁾ $90-100^{\circ}$.

Сопоставляя имеющиеся в литературе данные о температурных условиях высушивания сахарной свеклы, можно видеть, что высший нагрев ее различными исследователями берется не одинаковым. Колебания температуры очень значительны и лежат от $60-70^{\circ}$ до 130° и выше. При чем температуры, превосходящие 100° , всеми признаются уже, как угрожающие карамелизацией и пригоранием сахара и других составных веществ массы свекловичного корня.

Различие в целях, преследуемых отдельными исследователями, и расхождение не только в температурах, но и в большинстве прочих условий высушивания сахарной свеклы, исключают возможность делать на основании непосредственных сопоставлений результатов подобного рода исследований какие-либо определенные выводы.

В связи с этим, основной вопрос об оптимальной температуре для высушивания свекловичной стружки в значительной мере остается и до сего времени открытым, хотя положение о нецелесообразности повышения температуры высушиваемой массы свеклы более, чем на 100° , а также необходимость сушки нагретым воздухом должно признать уже доказанными.

Очевидно, что не только предельная степень нагрева высушиваемой стружки, но и ход развития нагрева, а также связанная с этим постепенность

¹⁾ „Доклад Комиссии по исследованию способа de Vecchis свекло-сахарного производства“ Министерство Земледелия и рыболовства Лондон 1925 г. (перевод с английского).

²⁾ Зан. Н. И. К. Т. Сах. Ур Киев 1924 г. I т. 203 стр.

³⁾ Там же 1927 г. 255 стр.

и последовательность нарастания обезвоживания во времени должны иметь существенное значение по отношению качества получаемой сухой свекловичной массы.

Критерием соответствия температурных условий требованиям рационального высушивания сахарной свеклы является обеспеченность сухой стружке возможности легкого и полного извлечения из нее содержащегося в ней сахара.

Конечно, при условии возможно полного перехода без потерь всего сахара свежей стружки в высушенную и при соответствии способа высушивания экономическим требованиям в смысле расходов на топливо.

В приводимой ниже работе было поставлено задачей проследить, как развивается процесс обезвоживания свекловичной стружки при высушивании ее током нагретого от 45 до 85° С воздуха и как влияет температура высушивания на возможность извлечения сахара из сухой стружки.

Температуры для высушивания взяты от 45 до 85° С. Нисшая температурная граница принята как такая, которую далее снижать представляется уже нецелесообразным, так как при промышленных задачах высушивания выдвигается требование известной быстроты завершения процесса. Поднятие же температуры сушки более 85° представлялось нежелательным ранее выяснения того, как влияет эта, по мнению отдельных исследователей и по данным патентной литературы, и без того избыточная и яко бы уже вредная для сушки свеклы температура.

Во всех описываемых ниже опытах свекловичная стружка сушилась током предварительно нагретого воздуха. Высушивание велось в деревянном высоком с 11 полками сушильном шкафу системы проф. С. В. Лебедева. Нагрев воздуха, омывающего свекловичную стружку, лежащую на сушильных тарелках, расположенных на полках шкафа, производился электрическим нагревателем. Каждая полка снабжена термометром. На верхней полке шкафа установлена вытяжная труба с вентиляционным устройством. Воздух подводится к аппарату снизу и, минуя воздушную нагревательную камеру и полки со стружкой, уходит в вентиляционную трубу. Ток воздуха и степень нагрева каждой отдельной полки держится в аппарате в течение опыта без изменения, при том вполне устойчиво.

При наблюдении развития процесса высушивания производится еже часно взвешивание тарелок с высушиваемой стружкой, с каждой полки отдельно. Точность взвешивания до 0,1 гр. при нагрузке на каждую полку по 300 гр. свежей свекловичной стружки.

Каждая полка сушильного аппарата отвечает строго установленной, постоянной для опытов температуре.

Высушенная стружка собирается пополочно, отдельными фракциями, соответственно температуре высушивания. Высушенная стружка хранится в стеклянных банках с притертыми пробками.

Материалом для исследования послужила сахарная свекла, выращенная под гор. Томском в 1927 г. из семян урожая 1923 г., полученных от Теткинской сортовидно-семенной станции Курской губ.

Вымытая и насухо вытертая свекла резалась с помощью обыкновенного ножа заводской свеклорезки, помещенного в ножевую раму и установленного на толщину стружки в 3 м. м. Из общего количества приготовленной таким образом стружки, тщательно перемешанной, при каждом опыте бралось по 4 пробы для установления среднего содержания сахара в свежей стружке. Остальное количество стружки размещалось по 300 гр. на тарелку каждой полки сушильного шкафа, заранее нагретого до требуемой степени и быстро заполняемого приготовленными и взвешенными пробками свеклы.

Последовательное изменение температуры по полкам сушильного аппарата, т. е. температура сушки отдельных фракций высушиваемой свекловичной стружки, представлены приводимой ниже таблицей I. В той же таблице приведена

длительность высушивания стружки, необходимая для удаления при различных температурах высушивания 76—78% воды из свежей стружки. При этом сухой стружки получается около 22—24% от первоначального веса свежей взятой в сушилку свекловичной стружки.

ТАБЛИЦА № 1.

№ полки сушильного аппарата	Температура высушивания	Время сушки до 2—4% влажности сухой стружки
10	84° С	9 час.
9	79	11 "
8	74	18 "
7	66	21 "
6	63	22 "
5	61	23 "
4	59	25 "
3	55	27 "
2	51	29 "
1	45	31 "

Последующая таблица № 2 приводит данные, показывающие, как во времени развивается процесс обезвоживания свекловицы при сушке ее током сухого воздуха различных показанных ниже температур.

ТАБЛИЦА № 2.

Темпер. сушки С°.	Часовая убыль веса свежей свекловичной стружки в % ее первоначального веса в течение времени от начала сушки						
	1-го час.	2-го час.	3-го час.	4 и 5 ч.	6 и 7 ч.	8 и 17 ч.	За все вр.
84	20,3%	18,0%	12,3%	16,3%	9,0%	3,8%	79,7%
79	14,3	14,3	10,6	19,3	11,6	9,3	79,6
74	8,0	10,6	9,3	17,0	13,3	20,7	78,9
66	3,0	7,7	7,0	15,7	14,0	31,0	78,4
63	2,3	5,0	5,7	13,0	12,0	34,3	72,3
59	0,0	1,3	2,0	6,0	9,6	47,0	65,9
55	0,3	0,7	1,0	5,0	8,0	47,0	62,0
51	0,0	0,3	1,0	3,0	4,3	43,3	52,9
45	2,3	1,0	2,0	1,3	2,3	36,3	45%

В таблице № 3 помещены результаты еще одного ряда опытов высушивания свекловичной стружки, произведенных при прежних температурных условиях, но при ином токе воздуха.

ТАБЛИЦА № 3.

Темп. сушки С°.	Часовая убыль веса свежей стружки в ‰ ее первоначального веса за время от начала сушки							
	1 часа	2 часа	3 часа	4 часа	5 часа	6 часа	7 часа	Всего
84°	24,6‰	12,6‰	15,6‰	9,3‰	6,0‰	4,3‰	3,0‰	75,4‰
79	16,3	12,0	14,3	9,0	6,3	5,0	4,1	67,0
74	11,6	7,3	13,3	9,0	6,3	5,6	5,0	58,1
66	8,3	5,2	9,6	8,0	6,0	6,0	5,0	48,1
63	5,6	3,6	8,3	6,6	5,6	5,8	5,0	40,5
61	3,6	3,3	6,3	5,3	5,0	5,0	5,0	33,5
59	3,0	1,3	5,6	4,3	3,3	4,3	4,0	25,8
55	2,0	1,0	3,6	3,3	2,6	3,3	3,3	19,1

Приведенные данные говорят за то, что как повышение температуры высушивания, так и удлинение его ведут к увеличению абсолютного количества удаляемой влаги. В этом смысле длительность высушивания и степень нагрева до известной степени могут взаимно возмещать друг друга.

Однако, значение того и другого фактора для отдельных стадий высушивания оказывается неравноценным. Преобладающее значение повышенной температуры высушивания, резко сказывающееся в начальных стадиях обезвоживания сахарной свеклы, с течением времени довольно быстро спадает. Благодаря этому, через известный промежуток времени, потеря влаги начинает идти одинаково как при высокой, так и при сравнительно низкой температуре.

Из таблицы № 3 видно, что в первый час высушивания при 55°С испаряется только 2‰, а при 88°—24,6‰ влаги от веса свежей свекловичной стружки.

Таким образом, при 84° эта стружка теряет в 12,3 раза больше, чем при 55°, тогда как на третьем часу сушки то же отношение выражается 4,3, на шестом часу—1,3 и на седьмом часу только 0,9. Последнее говорит за то, что сушка при 84° в этот период идет уже медленнее, чем при 55°.

Рассматривая в связи с этим данные таблицы № 2, можно видеть, что в период досушивания фактор времени получает перед фактором высоты нагрева преобладающее значение.

Из сопоставления соответствующих данных таблиц, №№ 2 и 3 видно, что при одних и тех же температурах высушивания можно очень неодинаково проводить процесс обезвоживания в отношении влажности и длительности отдельных периодов сушки.

Очевидно, что это обстоятельство должно стоять в связи с течением, длительностью и степенью интенсивности различных физических, биологических и химических процессов, развертывающихся в высушиваемом материале. Благодаря этому, порядок и условия высушивания должны иметь известное влияние на качество получаемого продукта.

С другой стороны условия высушивания должны в известной мере определяться природой и индивидуальными свойствами высушиваемого материала.

Исходя из этого, можно ожидать, что развитие процессов обезвоживания, например, сахарной свекловицы и картофеля, может проходить в отдельных стадиях не совсем одинаково, для этих двух продуктов растительного происхождения. Это может иметь место в конечных стадиях высушивания картофеля и сахарной свекловицы. Тогда в том и другом случае создаются для процесса обезвоживания различные условия. Обуславливается это тем, что в свекловице в это время испаряется уже трудно концентрирующийся высокой густоты раствор сахара, тогда как при картофеле, где крахмал не находится в растворе, отдача влаги в этот период высушивания проходит с гораздо большей легкостью.

Правильность этого положения подтверждается таблицей № 4, где сопоставлены опытные данные, полученные при параллельном высушивании свекловичной и картофельной стружки при совершенно тождественных условиях. Сопоставление это было проведено для различных интересующих нас температур.

ТАБЛИЦА № 4.

Температура сушки С°.	Убыль веса свежей свекловичной и картофельной стружки в % первоначального веса в течение одного часа, считая от начала сушки						
	1 час.	2 час.	3 час.	4 час.	5 час.	6—7 ч.	8 час.
	Свекла карто- фель	Свекла карто- фель	Свекла карто- фель	Свекла карто- фель	Свекла карто- фель	Свекла карто- фель	Свекла карто- фель
70°	18,4 ⁰ / ₀	17,6 ⁰ / ₀	11,6 ⁰ / ₀	10,4 ⁰ / ₀	6,0 ⁰ / ₀	3,6 ⁰ / ₀	1,2 ⁰ / ₀
	18,8 ⁰ / ₀	17,2 ⁰ / ₀	15,6 ⁰ / ₀	9,2 ⁰ / ₀	6,8 ⁰ / ₀	4,6 ⁰ / ₀	1,4 ⁰ / ₀
59°	14,8	14,0	10,4	9,6	6,8	5,4	2,8
	14,4	12,4	12,0	8,0	7,2	6,6	5,2
48°	8,4	11,2	8,0	8,8	8,8	5,4	3,6
	9,6	6,0	10,8	8,4	6,4	7,2	5,6

Из данных таблицы № 4 можно видеть, что при взятых условиях скорость высушивания свеклы в начальные стадии заметно превышает скорость того же процесса для картофеля. Но уже в период 5—7 часа интенсивность обезвоживания сахарной свеклы начинает заметно отставать, а для 7 и 8 часа это представляется уже общим положением в пределах рассмотренных температур и условий.

Выясненные положения говорят о том, что температура высушивания определяется индивидуальными свойствами высушиваемого материала. Температура высушиваемой стружки в течение всего периода высушивания в зависимости от стадии высушивания должна меняться, постепенно снижаясь к концу обезвоживания.

Чрезмерное повышение температуры в конечной стадии высушивания является нецелесообразным.

Степень высушивания свекловичной стружки при высшей температуре возрастает скорее, чем при низшей.

Переходя к вопросу о влиянии температуры высушивания свекловичной стружки на способность ее к обезсахариванию, остановимся прежде всего на методе исследования, применявшемся в данном случае.

Характер этого метода определяется, во-первых, стремлением подойти к вопросу со стороны возможности заводской переработки сушеной свеклы, с

другой, найти такой метод, который по своему характеру был бы достаточно близок к обычному промышленному извлечению сахара из свеклы диффузионным способом. Очевидно, что при таких условиях извлечение сахара должно быть производимо водою. Однако, о том, как это надлежит осуществить с сушеной свеклой, литература дает лишь очень скудные и далеко неполные указания. О степени нагрева, о длительности экстрагирования, о количественных соотношениях воды и сушеной свеклы встречаются лишь указания единичных авторов, приуроченные к случайным условиям определенных лабораторных исследований без заданий промышленного извлечения сахара из сушеной свеклы.

В связи с этим, например, в работе Бенина¹⁾ сушеная свекла тонко измельчается. Само собой понятно, что этот способ, вполне правильный для лабораторного исследования сушеной свекловичной стружки на содержание в ней сахара, является совершенно нецелесообразным для промышленного извлечения сахара из сухой свеклы. Причины понятны: во-первых, удорожание производства за счет расходов по измельчанию сухой свеклы, во-вторых, известное ухудшение получаемых водяных экстрактов сахара, так как при тонком помоле вскрывается излишне большое количество клеточек свекловицы. При этом все содержимое их целиком переходит или в раствор, или в трудно отделимое коллоидальное и суспендированное состояние, затрудняющее последующую очистку сахарных соков, полученных из молотой сухой свеклы.

При таких условиях извлечение методом диффузии непосредственно из сушеной стружки имеет свои преимущества попутной очистки извлекаемого сахара, не мешая в то же время полноте его извлечения. Поэтому в настоящей работе вся сухая свекловичная стружка совершенно одинаково во всех пробах отсортировывалась на системе сит, при чем отделялась вся мука, мелочь, а также излишне крупная стружка. В результате получилась только однородная масса, состоящая лишь из стружки одинаковой толщины. Этот же способ очистки сушеной стружки в то же время способствовал и правильности отбора средней пробы.

В первой части настоящей работы было выяснено, как получались совершенно тождественных условиях сушки при разных температурах 8—9 фракций сушеной свеклы. В настоящем случае предстоит сравнить эти пробы в отношении способности их к обезсахариванию. Это можно осуществить, применяя не только один и тот же метод исследования, но и прилагая его в совершенно тождественных условиях, что гарантируется одновременной и совместной обработкой сравниваемых проб сухой свеклы.

При таких условиях, получая тот или другой процент извлеченного сахара из отдельных проб высушенной при разных температурах свекловичной стружки, возможно вне зависимости от избранного метода получать вполне сравнимые результаты. В связи с указанным, опыты извлечения сахара из сушеной свеклы ставились совместно и одновременно для всех 8—9 сравниваемых фракций свекловичной стружки различных температур сушки, меняя в отдельных случаях температуру экстрагирования, длительность его и т. п. одновременно для всего ряда сравниваемых проб.

Переходя к самому извлечению сахара из сушеной свеклы, должно отметить ниже следующее. Сахар извлекался, по методу водной дигестии при различных температурах, с наибольшей в 90° С, и наименьшей в 20° С, при продолжительности от 15 до 45 минут, помимо ориентировочных опытов, с продолжительностью в 60 минут и более.

Сравнение результатов опытов с длительностью в 60 и 45 минут показали, что для сушеной свеклы методом извлечения, применяемым в настоящей работе

¹⁾ Н. З. Г. Э. И. С. Пр. 1927.260.

60 минут, уже почти не дают преимуществ перед длительностью извлечения в 45 минут.

Навески сухой свеклы в большинстве опытов бралось в 5,2 грамма, на объем дигестионной колбы в 200.6 к. с. Это отвечало условиям извлечения сахара из свежей свеклы при ее нормальной навеске в 26.0 на 200.6 к. с., так как при сушке свеклы из нее выделяется около 80% воды.

При таких условиях полученные результаты по определению сахаристости сухой свеклы возможно было непосредственно сравнивать с результатами обычного определения сахара в свежей стружке.

Брать большую навеску сушеной свеклы на обычный объем дигестионной колбы представлялось нежелательным и неудобным, так как объем разбухшей свекловичной мякоти был бы несоразмерно велик сравнительно с нормальным его объемом в соответствующей пробе со свежей свекловичной стружкой при аналогичном определении.

Самый опыт извлечения сахара из свеклы производился способом, описываемым ниже.

Перед помещением дигестионных колб в ванну, последняя точно доводилась до требуемой температуры, которая строго поддерживалась в течение всего опыта.

Вода в ванне перемешивалась током пропускаемого воздуха.

Колбы, будучи подвешены в ванне, свободно омывались нагретой водой. Все снаряженные колбы одновременно помещались в ванну. Первоначальное наполнение каждой колбы отвечало $\frac{3}{4}$ ее рабочего объема. Дигетирование производилось без добавки свинцового уксуса. Последние прибавлялся по окончании извлечения сахара к уже отфильтрованной жидкости перед поляризацией в обычной пропорции 10 на 100 к. с., соответственно чему увеличивался и получаемый отсчет поляриметрического определения. Во время опыта содержимое колб через короткие промежутки перемешивалось взбалтыванием, не вынимая их из воды ванны. Доливание до метки каждой колбы производилось через 15 минут от начала дигетирования.

По окончании дигестии колбы одновременно быстро охлаждались до 20° С, содержимое их фильтровалось через сухой фильтр и после осветления поляризовалось в трубке 200 м. м. Полученный результат удваивался, вводилась поправка от разбавления прибавкой уксусно-кислого свинца для осветления, и все относилось путем пересчета к свежей стружке, из которой была получена испытываемая сушеная.

Каждое испытание велось в 2 параллельных пробах.

Кроме результатов химического анализа, представляет интерес самый вид сушеной стружки, главным образом: окраска, изменение оттенка и степень цветности в отдельных пробах в зависимости от температуры высушивания стружки. Цветность интересна как непосредственно сушеной стружки, так и жидкости, получаемой после дигетирования и фильтрования извлекаемой стружки.

При чем выяснилось, что длительность и изменения температуры дигетирования в пределах рассматриваемых опытов влияния на цветность получаемых соков почти не оказывали.

Цвет высушенной стружки колебался от сероземлистого со слегка фиолетовым оттенком до цвета жидкого крепкого чая, при 84° сушки, с переходом через промежуточные цвета в желто-коричневый оттенок при 74—79° С.

Отмеченное изменение цвета сушеной стружки указывает на то, что процессы заметной карамелизации и разрушения вещества высушиваемой свекловичной стружки начинаются с 76—79° С и уже определенно выявляются при 84° С сушки свеклы.

Правильность этого подтверждается изменениями цветности сахарных соков, полученных при дигетировании различных проб свекловичной стружки, высушенной при неодинаковых температурах, что представлено таблицей № 5.

ТАБЛИЦА № 5.

П Р О Б Ы:	I	II
Температура сушки	60° С	84° С
Температура дигетирования	85	85
Продолжительность дигетирования в минутах	45	45
Навеска сухой свеклы	7.0	7.0
% сахара по дигестии	15.4	14.4
Цвет полученного сока	слабо-желтый	цвета густого чая

Данные таблицы № 5, выявляя разрушение вообще вещества свеклы при сушке ее с температурой 85°, определенно отмечают также и разрушение сахарозы при этой температуре. Это видно из того, что вместо 15,4% сахарозы, полученных из свекловичной стружки, высушенной при 60° С, в случае сушки при 84°, получается уже только 14,4% сахарозы. Содержание сахарозы, установленное для стружки, высушенной при 41° С и установленное только в 14 0/0, говорит о том, что понижение температуры высушивания до 41° С затрудняет извлечение из сухой стружки содержащегося в ней сахара. Таким образом, температура сушки в 41° С слишком низка для сушки стружки, тогда как 84° слишком высока.

В дальнейшем влияние температуры высушивания свекловичной стружки и значение температуры дигетирования получаемой сухой стружки систематически выявлены рядом опытов, представленных ниже данными, сопоставленными в таблице № 6. Условия этих опытов таковы: длительность дигетирования 15 минут, температуры дигестии от 20 до 90° С.

Рассматривая данные таблицы № 6, следует отметить некоторые колебания в результатах параллельных проб. Это расхождение следует отнести за счет того, что, при всей тщательности перемешивания сырой идущей на сушку, а также сухой отбираемой в пробу свекловичной стружки, отдельные пробы ее, взятые в количестве 5,2 гр., все же не могут быть совершенно тождественны в своем составе, так как элементом этих проб является отдельная стружка, имеющая достаточно большой для данного размера химической пробы вес и свой вполне определенный индивидуальный состав.

Однако, несмотря на отмеченные выше расхождения состава отдельных проб, общее сопоставление последовательного изменения количеств извлекаемого при дигестии сахара, в связи с влиянием температуры дигестии и температуры высушивания свеклы, дает совершенно определенную картину, приводящую к ряду интересных положений по разбираемому вопросу.

Положения эти таковы:

1. Низкая температура сушки свеклы замедляет извлечение сахара;
2. Количество извлекаемого сахара при кратковременной дигестии (15 мин.) увеличивается с повышением температуры дигетирования;
3. При дигетировании в 15 минут температура дигестии в 80°С уже недостаточна для извлечения всего сахара из сухой свекловичной стружки.

ТАБЛИЦА № 6.

№№ серий опытов	Условия сушки свеклы		15 минут дигестирования при температуре в °С															
	Температура °С	Время в часах	% сахара по дигестии в пересчете на свежую свеклу:															
			20°		30°		40°		50°		60°		70°		80°		90°	
а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	
I	45°	31 ч.	6.6	6.7	8.0	8.2	8.4	8.6	9.2	9.4	10.0	10.2	10.6	10.8	11.2	11.3	12.1	12.2
II	51	29	6.6	6.5	8.4	8.2	8.3	8.1	9.2	9.0	10.0	9.9			11.2	11.0	12.1	11.9
III	55	27	6.6	6.5	8.4	8.2	8.3	8.1	9.2	9.3	10.0	9.7	10.3	10.0	11.2	11.0	11.7	11.9
IV	59	25			8.8	9.0	9.5	9.7	9.0	9.2	10.2	10.4	10.6	10.8	11.2	11.5	11.9	12.1
V	63	22			8.8	9.1	9.7	9.7	9.3	9.4	10.2	10.6	10.0	10.3	11.8	12.4	11.9	12.3
VI	66	21			8.4	8.6	9.0	9.2	9.3	9.6	10.4	10.9	10.3	10.9	12.2	12.6	11.7	12.3
VII	74	18	6.4	6.7	8.4	8.3	9.0	9.4	9.6	9.7	10.4	10.8	10.8	11.3	12.0	12.6	12.1	12.4
VIII	79	11			8.4	8.7	9.1	9.4	9.5	9.8	10.3	10.8	10.3	10.6	11.2	11.6	11.9	12.2
IX	84	9	6.0	5.9	8.8	3.7	9.1	9.0	9.5	9.4	10.4	10.3	10.1	10.0	11.2	11.1	11.7	11.5
Среднее			6.6 ⁰ / ₀		8.5 ⁰ / ₀		8.9 ⁰ / ₀		9.3 ⁰ / ₀		10.3 ⁰ / ₀		10.5 ⁰ / ₀		11.6 ⁰ / ₀		11.9 ⁰ / ₀	

4. Температура сушки свеклы при 84°C понижает степень извлечения сахара и частично его разрушает.

5. Для более полного извлечения сахара из сухой свекловичной стружки при коротком, в 15 мин., дигетировании около 90°C , наиболее целесообразная температура сушки лежит около $74-79^{\circ}\text{C}$.

В последующих таблицах № 7 и № 8 приводятся аналогичные данные для условий, отвечающих опытам таблицы № 6, с той разницей, что таблица № 7 соответствует длительности дигетирования в 25 мин., а таблица № 8 — 45 минутам.

Во всех этих таблицах содержание сахара, извлеченного в отдельных опытах из дигестии сухой стружки, перечислено в проценты сахара на свежую свекловичную стружку, подвергшуюся высушиванию.

Данные таблиц № 7 и № 8 подтверждают все положения, выявленные уже при разборе таблицы № 6.

Помимо этого, взаимное сопоставление всех трех названных таблиц приводит еще к выводу о том, что, с удлинением времени дигестии с 15 до 45 минут, степень извлечения сахара из сухой стружки увеличивается. Повышение это, резко сказывающееся при невысоких температурах дигестии, несколько снижается при повышении температуры последней. Но даже и около 90°C это повышение степени извлечения сахара еще достаточно ясно проявляется.

Соответствующее сопоставление влияния на степень извлечения сахара длительности дигестии сушеной свеклы представлено таблицей № 9 по средним данным таблиц № 6—8 для случаев, наиболее определенно выявленных.

В несколько меньшей степени это же явление наблюдается и для температур дигестии от 30 до 50°C .

Одна из существенных сторон возможности перерабатывать сушеную свеклу связана с вопросом о потерях сахара при высушивании свекловичной стружки.

Для выяснения этого были сделаны определения сахара в свежей сырой стружке и в той же высушенной при различных температурах. Условия определения в обоих случаях взяты одинаковыми. Применен метод водной горячей дигестии при 90°C , с продолжительностью 45 минут. Для свежей стружки бралась нормальная навеска в 26.0 гр., для сухой — отвечающая ей навеска в 5,2 гр., также на 200.6 куб. дигестионного объема, т. е. были взяты эквивалентные количества сырой и сухой стружки. Последняя как в этом, так и во всех остальных опытах перед работой с ней тщательно отделялась на ситах от всякой мелочи и пыли, а также излишне крупной стружки, пользуясь только исключительно однородной по толщине стружкой без мязи. Это обстоятельство, как уже отмечалось ранее, было причиной того, что сухая стружка получила несколько иной более доброкачественный состав, чем сырая. Причиной этого в том, что мязга, состоя из обрывков покровной ткани бурака, клеточных стенок, волокон и т. п., является более бедной сахаром, чем остальная масса свекловичной стружки. В результате этого отсеивания стружки оказалось в среднем для 80% произведенных сравнительных проб богаче сахаром, чем соответствующая ей средняя проба свежей стружки. При многочисленных определениях оказалось, что содержание сахара в сырой стружке колебалось от 10.9% до 13.3%, а в среднем 11.5% сахара, тогда как для сухой стружки в пересчете на сырую цифры эти изменялись в пределах от 12.1 до 13.3% при среднем содержании 12.3%. Таким образом, по причинам уже указанным в рассматриваемом случае создается ошибочное впечатление о том, что из сухой стружки получается больше сахара, чем из сырой. В действительности же потери сахара при сушке свеклы неизбежны. При чем с температуры сушки в 84°C уже начинает проявляться карамелизация и разрушение сахара, сказывающиеся в ясно выявляющейся при этом температуре сушки повышенной цветности дигестионных жидкостей, что совершенно не наблюдается для стружки, высушенной при более низких температурах.

ТАБЛИЦА № 7.

№№ серий опытов	Условия сушки свеклы		25 минут дигестирования при температуре в °С																	
	Темпера- тура °С	Время в часах	% сахара по дигестии в Пересчете на свежую свеклу																	
			20°		30°		40°		50°		60°		70°		80°		90°			
			проба: а б		проба: а б		проба: а б		проба: а б		проба: а б		проба: а б		проба: а б		проба: а б			
I	45°	31ч.	7.0	7.1	8.4	8.6	9.1	9.2	9.5	9.7	10.8	11.1	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	12.3	12.0	
II	51	29	7.5	7.3	8.4	8.2	9.0	8.8	9.4	9.3	10.8	10.6	11.0	10.7	11.0	10.7	11.0	12.3	12.0	
III	55	27	7.2	7.0	8.4	8.6	8.9	8.8	9.5	9.2	11.0	10.7	10.6	10.5	11.6	11.6	11.6	12.1	11.9	
IV	59	25			9.0	9.2	9.2	9.4	9.6	9.6	10.8	11.1	11.0	11.3	11.6	11.9		11.9	12.5	
V	63	22	7.2	7.2	9.0	9.5	9.3	9.8	10.1	10.1	11.0	11.6	10.8	11.4				11.9	12.5	
VI	66	21	7.1	7.3	8.9	9.3	9.4	9.6	10.5	11.0	11.0	11.3	10.6	11.0	12.2	11.9	11.9	12.3	12.3	
VII	74	18	7.7	7.7	9.2	9.3	9.5	9.7	10.4	11.0	11.6	11.0	11.9	12.3	11.9	12.5	12.7	12.7	12.7	
VIII	79	11	7.2	7.4	9.1	9.3	9.4	9.7	10.8	11.0	11.2	11.6	10.8	11.1	11.9	12.3	11.9	12.5	12.5	
IX	84	9	7.0	6.9	9.0	8.9	9.4	9.3	11.2	10.8	11.2	11.1	11.2	11.1	11.2	11.1	11.2	11.1	12.3	12.4
Среднее			7.80%		8.90%		9.40%		11.00%		11.00%		11.10%		11.80%		12.30%			

ТАБЛИЦА № 9.

Время дигестии	Температура °С				
	20°	60°	70°	80°	90°
15 минут	6.6 ⁰ / ₀	10.3 ⁰ / ₀	10.5 ⁰ / ₀	11.6 ⁰ / ₀	11.9 ⁰ / ₀
25 "	7.3	11.0	11.1	11.8	12.3
45 "	7.6	11.3	11.5	12.4	12.7

Более детальное выяснение вопроса о потерях сахара при высушивании свеклы в настоящем случае не удалось провести из-за израсходования всего исходного материала.

Потери сахара при переработке сушеной свеклы связаны не только с сушкой, но и с извлечением сахара из стружки. При этом, помимо температуры дигестии, имеет значение для полноты извлечения, а вместе с тем и для возможности потерь сахара, длительность извлечения последнего.

В предыдущем продолжительность дигестии сушеной стружки была разобрана в пределах времени до 45 минут. При этом было выяснено, что оптимальная температура дигестии отвечает 90° С. Вопрос же о том, насколько полно при этом в течение 45 минут извлекается сахар сухой стружки остался еще невыясненным.

Поэтому представилось необходимым поставить опыты дигестии с большей длительностью.

Проведено это было на трех сериях опытов со свекловичной сухой стружкой различной сахаристости, а именно: 12,0⁰/₀, 12,2⁰/₀ и 16,2⁰/₀, считая на сырую свеклу. Все образцы этой свеклы были высушены при 66° С. Условия: дигестии 90° С, навеска 5.2 гр. на 200.6 куб. сент., продолжительность дигестирования от 45 до 95 и 115 минут. Результаты полученных опытов сопоставлены ниже, в таблице № 10.

ТАБЛИЦА № 10.

Время дигестии в минутах	№ серии	I	II	III
45	1	16.2 ⁰ / ₀	12.0	12.2
55	2	16.4	12.2	
65	3	15.0	12.2	12.2
75	4	14.6	12.0	12.0
85	5		12.0	
95	6		11.8	11.4
105	7		11.4	

В пределах уже ранее отмечавшихся неизбежных расхождений в составе отдельных проб сухой стружки, данные таблицы № 10 достаточно определенно говорят за то, что длительность дигестии сухой стружки в 45 минут при 90° С. берет почти все, что можно взять в отношении извлечения из нее сахара.

Увеличение длительности дигестии при указанных условиях за пределами 65—75 минут вызывает уже потери сахара.

В ы в о д ы.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать ниже приводимые общие выводы об условиях высушивания током нагретого воздуха свекловичной стружки и о требованиях наиболее быстрого и полного извлечения методом дигестии содержащегося в ней сахара.

- 1.—Низкая температура сушки замедляет извлечение сахара.
 - 2.—Температура сушки при 84° С уже частично вызывает разрушение сахара и несколько затрудняет его извлечение;
 - 3.—Наиболее благоприятная температура сушки свекловичной стружки лежит в пределах 74—79° С;
 - 4.—Наилучшие условия водной дигестии сухой свекловичной стружки отвечают 90° С при длительности минимум 45 минут, максимум 60 минут.
-