Профессор С. В. Лебедев и М. П. Парфацкая.

Теплота оттаивания сахарной свеклы.

Идея сахарной промышленности в Сибири в настоящее время претворяется в подлинную жизнь, воплощаясь в конкретные формы строющегося Алтайского сахарного завода. В связи с этим перед Сибирской промышленностью выдвигается ряд вопросов производственного характера, что является следствием своеобразных климатических условий Сибири. Одной из характерных особенностей последней является ее длинная холодная зима, что дает возможность хранить перерабатываемую на заводе сахарную свеклу в замороженном состоянии. Влияние длительного замораживания сахарной свеклы уже разбиралось в специальной работе С. В. Лебедева и В. П. Чехова, приведшей к нижеследующему интересному в данном случае заключению:

„Корень сахарной свеклы, подвергаясь в природных условиях сибирской зимы продолжительному действию устойчивого холода, претерпевает глубокие изменения. При этом в корне появляются разрывы его паренхимной ткани между сосудисто волокнистыми пучками. Размеры и число этих разрывов с течением времени возрастает. Массы льда чистой воды, первоначально появляющейся в межклетниках, со временем постепенно увеличиваются, образуя вытянутые скопления, пронизывающие тело замороженного корня. Уже к январю сахарная свекла, под действием естественного холода сибирской зимы, превращается в новый совершенно неизвестный европейскому сахарному производству материал, отличный по своим био-химическим, физическим и механическим свойствам от обычной сахарной свеклы, хранящейся в незамороженном состоянии.“

Приведенное положение имеет значение для многих процессов сахарного производства и в частности для сокодобывания, где первой задачей явится оттаивание мерзлой свеклы, точнее ее свекловичной стружки. Не касаясь здесь различных сторон и технических условий осуществления этой задачи, остановимся в настоящем случае лишь на вопросе о количестве тепла, необходимого для оттаивания мерзлой свеклы. Очевидно, что эта затрата тепла явится добавочной к нормальной в обычных условиях работы на незамерзшей свекле. При низких температурах сибирской зимы эта новая слагающая расхода тепла в сибирском сахарном заводе может быть довольно значительной. В виду этого представляется необходимым выяснить ее величину, как входящую новой статьей теплового баланса сокодобывания при работе на мерзлой свекле.

Сахарная промышленность, работая в нормальной обстановке с незамерзшей свеклой, до сего времени интересовалась ее теплоемкостью только при температуре выше 0°. Величина ее, определявшаяся различными авторами, колебалась около 0,85-0,87. Расхождение отдельных указаний в этом отношении вполне естественно, так как состав сахарной свеклы очень изменчив. Содержание в ней мякоти, сахара, несаха

ров, воды очень непостоянно в зависимости от климата, почвы, условий вегетации, степени зрелости, длительности и условий хранения свеклы и т. д.

На величине теплоемкости сахарной свеклы отражается также и ее температура. Особенно заметно это должно сказаться при температурах образования в свекле льда при ее замерзании. Неизбежность этого определяется, с одной стороны, тем, что в массе свекловичного корня находится около 70% воды, с другой стороны, это стоит в связи с тем, что теплоемкость воды при 0° равна 0.9992 Regnault, тогда как теплоемкость льда отвечает при 0° только 0'505, уменьшаясь при последующем снижении температуры льда, что видно из нижеприводимых данных:

° C	Теплоемкость льда:
0	0,505
— 20	0,431
— 50	0,409
— 100	0,329

При таких условиях теплоемкость замерзшей свеклы должна быть в силу значительного содержания в ней воды, конечно, меньше теплоемкости свеклы незамерзшей. Очевидно, что величина теплоемкости замороженной свеклы по многим вполне понятным причинам не может быть постоянной, при чем одна из этих причин лежит в том, что количество находящегося в замерзшей свекле льда зависит от глубины и длительности ее замораживания.

Масса свекловичного корня в своем составе очень сложна и изменчива. Кроме сахара, воды и мякоти, она содержит еще большое число разнообразных по своим физическим свойствам, химической природе и количеству азотистых, безазотистых, органических и неорганических веществ. Теплоемкость этих слагающих свекловичного корня представляется очень различной, при том для многих веществ еще не установленной. Все это лишает возможности теоретически разрешить вопрос о теплоемкости замороженной сахарной свеклы, исходя из установленного химического состава и теплоемкостей составляющих ее веществ.

Задача эта тем более затруднительна, что количество льда чистой воды, вымораживаемой из клеточного сока свеклы, а также количество, концентрация, состав и теплоемкость части клеточного сока, остающегося в незамороженном состоянии в свекле, сохраняемой при температурах ниже 0°, неизбежно меняются в зависимости от степени и продолжительности промораживания свеклы. Все вышеприведенное говорит о том, что количество тепла, необходимое для оттаивания мерзлой свеклы, завися от многих условий, очень трудно поддается учету. При этом все же надо ожидать, что теплоемкость свеклы, промороженной в условиях сибирской зимы, должна быть несколько иною, чем теплоемкость сахарной свеклы, лишь случайно и кратковременно подвергавшейся замерзанию в обычных кагатах свеклосахарных районов умеренного климата.

Суммарное количество тепла, необходимого для оттаивания мерзлой свекловичной стружки, слагается из следующего:—во-первых, из тепла, затрачиваемого на нагрев от начальной температуры всей массы замерзшей свеклы до температуры таяния находящегося в ней льда;

во-вторых, из количества тепла, идущего на таяние льда и, наконец, из количества тепла, необходимого для прогрева всей массы оттаявшей свеклы до конечной температуры. Главной слагающей общего количества затрачиваемого тепла на оттаивание мерзлой свеклы является скрытая теплота таяния находящегося в ней льда. Останавливаясь на этом вопросе, можно отметить, согласно указаний Хвольсона*), следующее:

„Скрытая теплота должна зависеть от той температуры, при которой происходит переход вещества из одного состояния в другое. Явление переохлаждения указывает на возможность изменения температуры затвердевания, определяемой для воды как температура замерзания. „. . . . " Если температура плавления уменьшается на один градус, то скрытая теплота S уменьшается на C_1—C_2, т. е. разность теплоемкостей жидкого и твердого тепла, при чем для всех исследованных веществ $C_2 > C_1$, так что S всегда уменьшается с понижением температуры плавления. В принятых обозначениях: C_1—теплоемкость твердого тела, C_2—теплоемкость жидкого тела.

Помимо указанного, интересно также отметить приводимые ниже соображения Рубинштейна:**)

„Живые ткани замерзают обычно при очень сильном переохлаждении. Температуру мышцы, например, удается понизить до—10° С, иногда даже до—18° С и только после этого она внезапно начинает застывать, при чем температура поднимается до точки замерзания органа, лежащей лишь на несколько десятых градуса ниже нуля. Такие же значительные и непостоянные охлаждения требуются для замерзания целых животных. Опыты Бахметьева дают, что у одного и того же вида бабочки замерзание наступало в одних случаях, начиная с минус 2,1° С и при других с минус 12,9° С. При таких условиях определение истинной точки замерзания делается крайне неточным. Совершенно сходным образом можно переохладить раствор, находящийся вне организма, в тонких капиллярных сосудах. В капиллярном поперечнике в 0,4 мм. вода остается жидкой при минус 7° С и даже при минус 10° С. С увеличением капиллярности возрастает и степень необходимого для замораживания переохлаждения. Капиллярность вместе с тем понижает и самую точку замерзания раствора. Распределение находящихся в организме растворов не сплошными массами, а в мелких капиллярных трубках и полостях представляет важное защитное средство, предохраняющее их зимой от замораживания. Чем крупнее калибр сосуда, тем меньше препятствует он замерзанию находящейся в нем жидкости. Вследствие подобной зависимости замораживания от капиллярности выносливость клеточных структур при переохлаждении возрастает по мере уменьшения размеров. Переохлаждение устраняется при внесении в раствор кристаллика льда, служащего очагом кристаллизации. В нормальных условиях клеточная оболочка препятствует проникновению в клетку таких очагов кристаллизации. При ее повреждении клетка легко промерзает".

По этому поводу нужно отметить, что явление переохлаждения вследствие капиллярности, конечно, имеет место и при замораживании сахарной свеклы, но так как корни ее в зависимости от целого ряда разнообразных условий, могут быть в этом отношении неодинаковы-

*) Хвольсон „Руководство по физике" т. III стр. 512.
**) Рубинштейн. „Введение в физико-химическую биологию" 14-15 стр.

ми, то поэтому и температуры замерзания свеклы могут в отдельных случаях заметно различаться.

Неопределенность тепературы замерзания свеклы вносит еще одно затруднение для возможности теоретического подсчета количества тепла, необходимого для оттаивания замерзшей сахарной свеклы. При таких условиях в разрешении этого вопроса представляется необходимым итти экспериментальным путем, что и является задачей настоящей работы.

Остановимся прежде всего на обстановке и условиях, в которых велась подготовка сахарной свеклы к опытам.

Материалом для исследования служила мороженая свекла, полученная из Барнаульского округа Алейского района (место постройки сибирского сахарного завода). Свекла была перевезена по железной дороге в деревянных ящиках. Время присылки свеклы—30 декабря и 8 февраля.

В Томске мороженая свекла хранилась в ящиках в холодном помещении—деревянном сарае.

Температура сарая соответствовала температуре наружного воздуха, так что свекла в течение зимы не подвергалась оттаиванию. Опыты со свеклой производились в течение трех зимних месяцев: декабря, января и февраля; температура наружного воздуха за это время по данным метеорологической станции Сибирского Технологического Института была такова:

	Декабрь	Январь	Февраль
Минимум . . .	—40,9° C	—40,5° C	—41,4° C
Максимум . . .	— 8,8° C	—10,0° C	— 9,2° C
Среднее . . .	—23,9° C	—22,6° C	—23,0° C

Для подготовки свеклы к опытам служил специальный подвал при Лаборатории Питательных Веществ Технологического института, построенный в 1928 году. Подвал этот представляет собой отдельную примыкающую к наружной стене лаборатории каменную постройку, углубленную на 1,5 метра ниже уровня земли и имеет два отдельных помещения: во-первых, неотапливаемую лабораторию, во-вторых, внутреннюю железобетонную камеру для хранения свеклы, окруженную воздушным пространством, отделяющим стенки камеры от нанужных стен, потолка и кирпичных стен подвала, отодвинутых от них на расстоянии одного метра. Холодная лаборатория отделяется от железо-бетонной камеры толстой кирпичной стеной, соединяясь с нею двойными, обитыми войлоком, сукном и клеенкой дверями, ведущими в камеру. Колебания температуры при таком устройстве были весьма незначительны.

Средняя температура в помещении подвала за время производства опытов такова:

	Холодная лаборатория:	Камера для хранения свеклы:
Декабрь	—3,2° C	— 3,0° C
Январь	—4,8° C	— 9,5° C
Февраль	—7,2° C	—11,4° C

Подготовка мороженой свеклы производилась в следующем порядке: свекла, по мере надобности, переносилась из наружного вышеуказанного деревянного сарая в камеру, где находилась в течение короткого промежутка времени, около 15 минут, пока производилась подготовка аппаратуры для опыта. В холодной лаборатории помещалось все необходимое для измельчения и отвешивания свеклы, т. е. резка и терка, весы с разновесами, эксикаторы с чашками и т. д.

Вся аппаратура находилась постоянно в холодной лаборатории и имела температуру находящегося в ней воздуха. Свекла предварительно очищалась от грязи посредством сухой щетки, затем окончательно начисто вытиралась сухим полотенцем, после чего превращалась в стружку, при чем резка производилась при помощи ножа заводской свеклорезки, помещенного в ножевую раму и установленного на толщину стружки в 5 мм. Часть опытов производились со свекловичной мязгой, при этом свекла превращалась в мязгу на грубой терке. Подготовка свеклы к опытам и превращение ее в стружку велось руками, одетыми в специальные двойные толстые рукавицы, чтобы устранить по возможности, нагревание свеклы. Из общего количества приготовленной таким образом стружки, тщательно перемешанной, бралась проба для калориметрического исследования и проба для анализа, производимого на содержание воды, сахара и белков. Для калориметрического определения стружка свеклы отвешивалась в количестве 50—100 гр. с точностью до 0,1 гр. в заранее взвешенную со стеклянной палочкой специальную чашку из алюминия, затем свекла с чашкой и палочкой помещалась в небольшой эксикатор с термометром для низких температур. Термометр укреплялся в крышке эксикатора, посредине которой имелось отверстие, и погружался своим ртутным шариком в массу стружки свеклы, так что показания термометра соответствовали зампературе охлаждаемой свекловичной стружки. В эксикаторе имелся открытый боковой тубус. Эксикатор со свеклой быстро переносился на открытый воздух, тубус открывался и время от времени наблюдалась температура стружки, помещенной в эксикаторе. Вся операция измельчения и отвешивания пробы до охлаждения ее на наружном воздухе производилась в течение 15-20 минут.

Таким образом, вся работа по измельчению и подготовлению стружки производилась при низкой температуре с предварительно охлажденной аппаратурой, и если при этом и получалось кратковременное частичное нагревание стружки, неизбежное даже в этих условиях, так как свекла приносилась из наружного помещения с более низкой температурой, чем в подвале, то это нагревание после получения стружки устранялось последующим охлаждением ее в эксикаторе на внешнем воздухе, где стружка принимала более низкую температуру. Темперирование стружки на наружном воздухе продолжалось в течение 4-5 час. до тех пор, пока свекла не принимала совершенно устойчивую температуру. В течение первых трех-четырех часов падение температуры происходило довольно быстро, но по мере охлаждения свеклы температура ее падала все медленнее, пока не начинала изменяться на полградуса в час. За окончательную температуру стружки принималась такая, которая отличалась от температуры наружного воздуха на один градуса С. Получить свеклу с температурой, равной температуре наружного воздуха, не удавалось.

Таким образом свекловичная стружка подготовлялась к опыту.

* * *

Определение количества теплоты, необходимого для оттаивания замороженной стружки, производилась в калориметре Реньо при помощи метода смешения. Это определение велось при комнатной температуре в 17-20° С. Комната, в которой производились опыты, представляла собой читальный зал Лаборатории Питательных Веществ—небольшое помещение с устойчивой температурой. В этой комнате других работ не производилось, не было газовых горелок и отсутствовали резкие течения воздуха: тяги, вентиляторы и т. д. Калориметр помещался на отдельном столике.

Калориметр Реньо, при помощи которого производились опыты, состоял из латунного цилиндрического сосуда с эбонитовыми изоляционными подставками, емкостью в 1000 см.^{3}, медной мешалки и термометра с делениями в 0,1°. Латунный калориметр помещался в двухстенный металлический сосуд, обложенный снаружи изоляционным войлоком; промежуток между стенками этого сосуда заполнялся водой. Сверху калориметр закрывался крышкой, также покрытой изоляционным слоем. Посредине крышки имелось отверстие, в котором был укреплен термометр. Как латунный термометр, так и мешалка его были взвешены с точностью до 0,1 гр.

Самый опыт производился описываемым ниже порядком.

В латунный калориметр, в качестве калориметрической жидкости, наливалось определенное весовое количество керосина или воды, отвешенных с точностью до 0,1 гр. при комнатной температуре в 15-18° С. Жидкость (керосин или вода), бралась в количестве от 300 или 600 гр., в зависимости от взятой навески свеклы и ее температуры, а также в связи с тем, что теплоемкость керосина в два раза меньше теплоемкости воды.

Темперирование жидкости продолжалось в течение 2-3 часов, пока она не принимала устойчивую температуру того помещения, где производилось калориметрическое определение.

После этого, охлажденная в эксикаторе на наружном воздухе до его температуры, свекловичная стружка переносилась в лабораторную комнату, при чем тубус эксикатора предварительно закрывался. Точно отмечая по показанию термометра в эксикаторе температуру стружки, также устанавливая температуру жидкости в калориметре, быстро вносилась свекловичная стружка в жидкость калориметра. Затем калориметр закрывался крышкой и жидкость подвергалась непрерывному помешиванию. Отсчеты во время опыта велись через каждую минуту по термометру, погруженному в жидкость калориметра до тех пор, пока температура не начинала вполне равномерно и очень медленно повышаться (примерно на 0,1° в минуту). Это равномерное поднятие температуры указывало на то, что поглощение тепла закончилось и нагревание происходит в силу разности температур калориметра и окружающего его воздуха.

После окончания опыта алюминиевая чашка из под стружки снова взвешивалась, Приравнивая количество тепла, потерянное калориметром и жидкостью к количеству тепла, воспринятому свекловичной стружкой, получаем уравнение (I), по которому и производим расчет баланса тепла:

$$C_c p_1 (T - t_1) + S p_1 = (p_2 C_ж + C_к p_3) \cdot (t_2 - T) + q = Q \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

где: p_1 — навеска мороженой свеклы,
t_1 — начальная температура свеклы,
p_2 — навеска калориметрической жидкости,
t_2 — начальная температура калориметрической жидкости,
T — окончательная температура или температура смеси,
c_c — теплоемкость бурака (свеклы),
$C_ж$ — теплоемкость калориметрической жидкости,
$C_к$ — теплоемкость калориметра-мешалки,
p_3 — вес калориметра и мешалки
S — открытая теплота таяния,
q — поправка на радиацию (лучеиспускание).

В этом ряде опытов теплоемкость свеклы условно принималась равной 0,87 как для мороженой, так и для оттаявавшей свеклы.

Керосин брался с теплоемкостью, равной 0,48. Скрытая теплота оттаивания S расчитывалась на 1 грамм взятой свеклы. В опытах, где производилось определение % содержания воды в свекле, скрытую теплоту оттаивания условно расчитывали на 1 грамм воды, находящейся во взятой навеске свеклы.

При опыте вводилась поправка на нулевую точку калориметрического термометра для определения температуры мороженой свеклы. Кроме того, вводилась поправка для калориметрического термометра на его тепловое значение по формуле:

$$q = v \times 0{,}46 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (II)$$

Расчитывая количество теплоты, идущее на собственное оттаивание свеклы, так сказать, на скрытую теплоту оттаивания на 1 гр. воды находящейся в свекле, и беря среднее из этих данных, мы видим, что это количество теплоты равно 40,5 калорий. При этом мы можем отметить, что количество вымерзшей воды является неодинаковым и зависит от условий, при которых происходило промораживание свеклы.

В дальнейшем, для всех опытов производилось определение содержания воды в свекле и скрытая теплота оттаивания ее расчитывалась на 1 гр. воды, находящейся в свекле. Так как, при постановке опытов, приведенных в таблице I, бралась различная свекла, то поэтому выяснить разницу в употреблении керосина и воды, взятых в качестве калориметрической жидкости, являлось весьма затруднительным, и для того, чтобы окончательно выяснить эту зависимость, был поставлен ряд опытов, где ставились параллельно по два опыта с керосином и водой из одной и той же пробы свеклы. Результаты этих опытов представлены в таблице III.

Рассматривая эти данные, можно видеть, что эта зависимость, если она и существует, то оказывается настолько незначительной, что установить ее из наших данных не представляется возможным. Некоторые опыты, как, напр., 54-56, 66-67, почти совершенно не расходятся между собою.

Так как, помимо замерзшей воды, имеющей доминирующее влияние на количество теплоты, необходимой для оттаиваиия свеклы, играют также роль и другие составные части свеклы, то поэтому параллельно с калориметрическим исследованием был произведен и анализ на содержание главнейших составных частей свеклы, а именно—сахара и

Таблица I.

Опыты оттаиванием мерзлой свекловичной стружки.

Дата опыта	№ анализа	УСЛОВИЯ ОПЫТА						ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС			Общее колич. тепла, затраченного на прогрев 1 грамм. свеклы до конечной температуры	Количество тепла, затрач. на оттаивание 1 гр. свеклы.
		Навеска свеклы грамм.	Начальн. температура свеклы	Навеска воды грамм.	Навеска керосина грамм.	Начальн. температ жидкости.	Конечн. температ. смеси	Общее колич. тепла, отданное калориметром	Общее колич. тепла, затрач. на нагревание свеклы	Общее колич. тепла, затрач на оттаивание		
10/XII	1	100.0	— 8,0° C	400.0	—	20,0° C	7,0° C	5370	1305	4065	53,7	40,6
12/XII	2	50.0	— 5,0° C	400.0	—	20,5° C	14,0° C	2709	826	1883	54,1	37,6
17/XII	3	50.0	—12,0° C	500.0	—	19,0° C	13,0° C	3078	1087	1991	61,7	39,8
18/XII	4	50.0	—10,0° C	300.0	—	18,7° C	9,7° C	2818	856	1962	56,3	39,2
19/XII	5	50.0	— 6,0° C	300.0	—	20,5° C	13,0° C	2351	826	1525	47,0	30,5
20/XII	6	48.4	—16,8° C	300.0	—	20,2° C	10,8° C	3071	1165	1906	61,4	38,9
22/XII	7	80.0	—15,2° C	500.0	—	19,5° C	10,8° C	4583	1809	2773	57,3	34,7
24/XII	8	100.0	—17,0° C	600.0	—	19,0° C	8,3° C	5453	2375	3078	54,5	30,7
24/XII	9	100.0	—19,0° C	—	500.0	15,3° C	1,5° C	4482	1522	2959	44,8	29,6
26/XII	10	50.0	—19,5° C	—	500.0	17,7° C	7,2° C	2801	1161	1640	56,0	32,8
27/ГII	11	50.0	—19,0° C	—	500.0	17,8° C	7,1° C	2828	1135	1692	56,5	33,8
28/XII	12	60.0	—12,0° C	—	490.0	19,6° C	5,8° C	3201	929	2273	53,3	37,9
30/XII	13	40.0	— 9,0° C	—	510.0	20,0° C	11,2° C	2566	765	1800	64,1	45,0
9/I	14	60.0	—29,0° C	—	490.0	16,2° C	3,3° C	3379	1298	2081	56,2	28,2
11/I	15	50.0	—26,0° C	—	500.0	16,0° C	5,4° C	2988	1365	1622	59,8	32,4
			—14,9° C				8,5° C			В среднем	55,8	35,4

Таблица II.

Опыты оттаивания мерзлой свекловичной стружки.

№ опита	Дата: число и месяц	Условия опыта: Величина навески свеклы грамм.	Условия опыта: Начальная температура свеклы	Условия опыта: Навеска керосина грамм.	Условия опыта: Начальная температур. свеклы	Условия опыта: Конечная температур. смеси	Характеристика свеклы: % воды в свекле	Характеристика свеклы: Колич. грамм воды во взятой навеске свеклы	Тепловой баланс: Общее колич. тепла, отданное калориметром	Тепловой баланс: Общее колич. тепла, затрач. на нагр. свеклы	Тепловой баланс: Общее кол. тепла, затрачен. на оттаив. свеклы	Общее колич. тепла, затр. на прогрев 1 грамма свеклы до конечн. температ.	Скрытая теплота оттаивания свеклы, расчит. на 1 грамм свеклы	Скрытая теплота оттаивания свеклы, перечислен. на 1 гр. воды, содержащейся в этой свекле
21	12/I	70.0	—20,°0	480.0	17,7° C	4,2° C	63,4	44,4	3445	1473	1971	49,2	28,1	44,4
22	14/I	50.0	—10,°9	470.0	19,2°	9,8°	62,1	31,0	2372	871	1501	47,8	30,4	49,1
25	17/I	80.0	— 7,°0	400.0	19°,0	5,5°	62,5	42,6	3953	761	3192	56,5	38,5	53,0
26	18/I	80.0	—22,°0	450.0	18,3°	3,1°	65,5	52,4	3666	1747	1919	45,8	24,0	36,9
30	19/I	80.0	—20,°0	410.0	19,7°	5,°0	66'5	53,2	3923	1740	2182	49,0	27,3	41,0
31	25/I	70.0	—22,°0	500.0	18,5°	5,2°	67,3	47,1	3229	1656	1572	46,1	22,4	33,4
32	26/I	50.0	—27,°0	500.0	17,°0	6'5°	63,5	26,9	2347	1457	890	47,0	17,8	33,4
33	27/I	70.0	—22,5°	500.0	17,7°	5,5°	67,3	47,1	3255	1705	1549	46,5	22,1	32,9
34	27/I	70.0	—17,°0	500.0	16,9°	3,4°	71,1	49,5	3801	1242	2289	54,3	36,5	51,3
35	28/I	70.0	—34,°0	500.0	18,5°	3,6°	71,4	49,6	3986	2289	3986	56,9	24,2	34,1
36	29/I	70.0	—35,°0	500.0	16,7°	0,8°	71,7	50,2	4242	2180	2062	60,6	29,4	41,1
37	30/I	70.0	—32,5°	500.0	18,2°	3,2°	0,4	49,3	4002	2174	1827	57,1	26,1	37,4
38	31/I	70.0	—31,5°	500.0	16,7°	3,8°	70,0	49,0	3575	2139	1435	51,1	20,5	30,6
39	4/II	70.0	—29,°0	500.0	18,8°	3,7°	61,7	43,2	4028	1991	2037	57,6	29,1	47,2
43	10/II	70.0	—22,5°	500.0	20,°0	7,9°	46,5	32,5	3228	1851	1377	46,1	19,7	42,3
46	17/II	50.0	—16,7°	500 0	19,7°	0,9°	64,0	32,0	2374	1196	1178	47,5	23,6	38,7
56	8/II	80.0	—17'7°	500.0	20,°0	5,7°	67,6	54,1	3805	1628	2176	47,5	27,2	40,3
58	11/II	80.0	—10,3°	500.0	18,9°	5,8°	67,6	54,1	3495	832	2662	43,7	29,7	44,5
59	24/II	70.0	—17,9°	500.0	16,8°	4,4°	64,7	45,3	3308	1345	1962	47,2	28,0	43,3
60	25/II	70.0	—23,°0	500.0	17,7°	5,°0	64,6	45,2	3388	705	1683	48,4	24,0	37,8
61	28/II	70.0	—13,°0	500.0	17,8°	6,8°	64,6	45,2	2988	1193	1573	42,7	25,6	41,9
			—21,2°			5,2°				В среднем		49,9	26,4	40,7

Таблица III.

Опыты оттаивания замороженной свеклы

№ анализа	Дата опыта: месяц и число	Условия опыта: Величина навески свеклы грамм.	Начальная температура свеклы	Количество керосина грамм.	Количество воды грамм.	Начальная температура жидкости	Конечная температура смеси	Характерист. свеклы: % воды в свекле	Колич. воды грамм. в навеске свеклы	Тепловой баланс: Общее колич. тепла отданное, калориметром	Общее колич. тепла, затр. на нагрев свеклы	Общее колич. тепла, затр. на оттаив. свеклы	Общ. колич. тепла, затрач. на прогр. 1 гр. свеклы до конечн. температ.	Скрыт. теплота оттаив. свеклы, расчит. на 1 гр. свеклы	Скрыт. теплота оттаив. свеклы, расчит на 1 гр. воды, содер. в этой свекле
40	1/II	70.0	—29,0° C	500.0	—	17,0°	1,7°	67,0	49,9	4082	1869	2212	58,3	31,6	47,3
41	„	70.0	—29,0° C	—	500.0	17,4°	9,0°	67,0	49,9	4425	2314	2110	63,2	30,2	45,0
42	2/II	70.0	—27,0° C	500.0	—	15,9°	2,0°	61,7	43,2	3708	1766	1942	52,9	27,8	45,0
43	„	70.0	—28,5° C	—	500.0	17,2°	9,0°	61,7	43,2	4319	2283	2036	61,7	29,1	47,2
44	6/II	70.0	--14,0° C	500.0	—	18,5°	7,2°	46,5	32,6	2914	1291	1623	41,6	23,2	49,9
45	„	70.0	—13,0° C	—	500.0	18,5°	12,6°	46,5	32,6	3108	1559	1549	44,4	22,1	47,5
47	9/II	80.0	—14,0° C	500.0	—	20,0°	5,4°	67,6	54,1	3895	1350	2545	48,7	31,8	45,1
48	„	80.0	—15,5° C	—	500.0	19,1°	11,0°	67,6	54,1	4267	1844	2422	53,3	30,3	44,8
52	18/II	80.0	—14,5° C	500.0	—	19,5°	2,7°	74,6	59,7	4428	1197	3231	55,4	40,4	54,2
53	„	80.0	—16,0° C	—	500.0	19,9°	10,2°	74,6	59,7	5109	1823	3026	63,9	41,1	55,1
54	20/II	70.0	—26,0° C	500.0	—	18,1°	3,0°	67,6	47,3	4028	1766	2262	57,6	32,3	47,8
55	„	70.0	—21,5° C	—	500.0	18,1°	10,1°	67,6	47,3	4214	1924	2975	67,2	32,7	48,4
66	23/II	70.0	—13,3° C	500.0	—	15,4°	3,7°	64,7	45,3	3121	1035	2086	44,6	29,8	46,1
67	„	70.0	—19,0° C	–	500.0	16,3°	9,1°	64,7	45,3	3793	1711	2081	54,2	29,7	46,0
			—20,0° C				6,9°				В среднем		54,3	30,9	47,9

Таблица IV

Опыты оттаивания мерзлой свекловичной стружки

№ опыта	Дата опыта	Условия опыта: Величина навески свеклы в граммах.	Условия опыта: Начальная температура свеклы °C	Условия опыта: Навеска керосина грамм.	Условия опыта: Начальн. температура керосина	Условия опыта: Конечная температура смеси	Характеристика свеклы: % воды в свекле	Характеристика свеклы: Колич. гр. воды во взятой навеске свеклы	Характеристика свеклы: % сахара в нормальном соке свеклы	Характеристика свеклы: % сахара в свекле	Характеристика свеклы: Белки в % веса сырой свеклы: В мязге	Характеристика свеклы: Белки в % веса сырой свеклы: В нормальн. соке	Тепловой баланс: Общ. колич. тепла, отданное калориметр.	Тепловой баланс: Общ. колич. тепла, затрач. на нагрев свеклы	Тепловой баланс: Общ. колич. тепла, затрач. на оттаив. свеклы	Общ. колич. тепла, затрач. на прогр. 1 гр. свеклы до конечн. температ.	Скрыт. теплота оттаив. свеклы, расчит. на 1 гр. свеклы	Скрыт. теплота оттаив. свеклы, расчит. на 1 гр. воды, содер. в этой свекле
23	17/I	80.0	— 5,5° C	400 0	19,6°	5,°0	69,4	53,5	22,3	19,6	0,75	0,43	3194	730	2463	39,9	30,7	46,0
24	18/I	80.0	—28,°0 C	400.0	16,4°	1,8°	69,2	55,4	22,3	19,6	0,75	0,43	3982	1613	2368	49,7	29,6	42,9
27	21/I	70.0	—22,°0 C	450.0	17,°0	2,°0	72,0	50,4	22,3	19,6	0,75	0,43	3542	1461	2080	50,6	29,7	41,3
28	22/I	70.0	—20,5° C	450.0	19,2°	4,2°	72,0	50,4	22,3	19,6	0,75	0,43	3542	1504	2037	50,6	29,1	40,4
29	23/I	70.0	—24,°0 C	500.0	17,5°	2,2°	69,2	48,4	22,3	19,6	0,75	0,43	4082	1595	2486	58,3	35,5	51,3
49	12/II	8 .0	—17,5° C	500.0	19,8°	3,2°	75,1	60,1	19,9	17,7	0,38	0,69	4428	1438	2990	55,4	37,4	49,8
50	16/II	80.0	—14,5° C	500.0	20,2°	5,3°	75,1	60,1	19,9	17,7	0,38	0,69	3975	1378	2597	49,8	22,5	43,3
51	17/II	80.0	—10,8° C	500.0	20,7°	6,°0	75,1	60,1	19,9	17,7	0,38	0,69	3922	1169	2752	49,0	34,8	45,6
52	18/II	80.0	—14,5° C	500.0	19,3°	2,7°	74,6	59,7	19,9	17,7	0,38	0,69	4428	1197	3231	55,4	40,4	54,2
53	20/II	70.0	—26,°0 C	500.0	18,1°	3,°0	67,6	47,3	19,9	17,7	0,38	0,69	4028	1766	2262	57,4	32,3	47,8
64	18/II	80.0	—16,° C	500.0	19,9°	10,2°	74,6	59,7	19,9	17,7	0,38	0,69	5110	1823	3026	63,9	41,1	55,1
65	20/II	70.0	—21,5° C	500.0	18,1°	10,1°	67,6	47,3	19,9	17,7	0,38	0,69	4214	1924	2075	60,2	32,7	48,4
69*)	8/III	70.0	— 9,°0 C	500.0	20,2°	8,4°	70,3	49,2	21,6	19,4	0,63	0,56	3748	1 59	2689	53,5	38,4	54,7
70*)	9/III	100.0	—10,°0 C	400.0	20,1°	3,5°	70,3	70,3	21,6	19,4	0,63	0,56	4632	1174	3457	46,3	34,6	49,2
			—16,9° C			4,9°								В среднем		52,9	34,2	47,9

*) В опытах 69 и 70 калориметрической жидкостью служила вода.

белков. Анализ сахара в нормальном соке производился поляризацией его, анализ сахара в свекле велся методом водной дигестии. Белковый азот определялся по методу Барнштейна и затем переводился на белки с помощью переводного коэффициента—6,25. Результаты этих опытов представлены в таблице VI.

Рассматривая эти опыты, мы видим, что скрытая теплота оттаивания свеклы, расчитаная на 1 гр. воды, с увеличением процентного содержания сахара в нормальном соке уменьшается, так: при 22,3% сахара в соке это количество теплоты в среднем равно 44,4 кал., а при 19,9% сахара в соке количество теплоты, затраченное на оттаивание, отвечает уже 49,2 калории. Белки, представляющие собою обширную и разнообразную группу, начиная с высших белков и кончая альбумозами и пентонами, являются такой относительно небольшой составной частью свеклы, что установить какую-либо зависимость между их процентным содержанием и количеством теплоты, затраченным на оттаивание свеклы, является весьма трудным.

Небольшая группа опытов была проведена с мерзлой свекловичной стружкой в холодной лаборатории с температурой от минус 5° до минус 7° С для выяснения теплоемкости замороженной свекловичной стружки; предполагалось при этом, что при этих температурах свекловичная стружка, предварительно значительно ниже охлаждения, не оттаивает, а лишь повышает свою температуру до указанного предела. Калориметрической жидкостью служил в этих опытах керосин. Результаты опытов представлены в таблице V.

Таблица V.

Опыты определения теплоемкости мерзлой свекловичной стружки.

№ анализа	Дата опыта	УСЛОВИЯ ОПЫТА					Общее колич. тепла, отданное калориметром и затрач на нагрев. свеклы	Колич. тепла, затрачен. на нагрев. 1 гр. свеклы.
		Навеска свеклы в граммах	Начальная температ. свеклы	Навеска керосина в грамм.	Начальная температ. керосина	Начальная температ. смеси		
16	14/1	100 0	— 9,0°С	350.0	—4,0°С	—6,9°С	564	2,7
17	15/1	100.0	— 7,5°С	450.0	—3,8°С	—5,9°С	457	2,9
18	16/1	90.0	—11,8°С	460.0	—4,7°С	—7,1°С	618	1,5
19	16/1	100.0	—10,0°С	350.0	—4,0°С	—6,8°С	545	1,7
20	17/1	100.0	— 9,0°С	350.0	—4,2°С	—6,4°С	467	1,9
21	17/1	50.0	— 9,0°С	460.0	—3,7°С	—5,7°С	515	3,1

Рассматривая эти опыты, мы видим, что при температурах от минус 5,7° С до минус 7,1° С (конечная температура смеси) свекловичная стружка уже частично оттаивает, так как теплоемкость свеклы получилась в этих случаях гораздо более высокой, чем это возможно теоретически.

Для того, чтобы легче ориентироваться в результатах произведенных многочисленных опытов, ниже в таблице VI дается общая их сводка по группам, соответствующим распределению опытов по таблицам I—IV. Для каждой из этих групп в таблице VI приводятся средние температуры, а также соответствующие им амплитуды изменений температур охлаждения свеклы.

В такой же форме приведены данные и для температур конечного прогрева свеклы в калориметре. В той же форме представлены и затраты тепла в грамм калориях относительно: во-первых, необходимого тепла для общего прогрева замерзшей свеклы, во-вторых, для скрытой теплоты оттаивания ее, относя эту величину к одному грамму свеклы, и, наконец, та же открытая теплота оттаивания свеклы представлена в пересчете на один грамм воды, содержащейся в этой свекле.

Таблица VI *).

Опыты таблиц / Средн. данные отдельных групп опытов	ТЕМПЕРАТУРА		РАСХОД ТЕПЛА В КАЛОРИЯХ		
	Охлажденной свеклы C°	Конечного прогрева свеклы C°	На общий прогрев 1 гр. свеклы до конечной температуры	На скрыт. теплоту оттаивания свеклы из расчета: На 1 гр. свеклы	На 1 гр. воды в свекле.
№ 1	— 15°C (от-5° до-29°)	+ 8°C (от 1° до 14°)	56 (45—64)	35 (28—45)	
№ 2	— 21°C (от 7° до-23°)	+ 5°C (от 1° до 11°)	50 (43—61)	26 (18—38)	41 (31—52)
№ 3	— 20°C (от-13°до-29°)	+ 7°C (от 2° до 12°)	54 (42—60)	31 (22—41)	48 (45—54)
№ 4	— 17°C (от-5° до-26°	+ 5°C (от 12° до 10°)	53 (40—60)	34 (29—41)	48 (40—55)
Среднее общая амплитуда	— 18°C (—5°—29°C)	+ 6°C (+1°до14°C)	50 (40—64)	32 (18—45)	45 (31—54)

Из таблицы VI видно, что в проведенных опытах средняя температура охлаждения свеклы колебалась по группам от минус 15° до минус 21,0° C с общей температурной амплитудой охлаждения сахарной свеклы от минус 5,0° до минус 35,0° C. Средняя же температура конечного нагрева свеклы изменялась от 5° до 8° C с общей амплитудой от 1° до 14° C.

Сопоставляя данные отдельных опытов таблиц I—IV, можно видеть, что общее количество тепла, идущего на оттаивание сахарной свеклы, длительно промерзавшей в естественных условиях сибирской зимы при температурах замороженной свеклы до минус 35° и при нагреве ее до плюс 14° C, лежит ниже 64 калорий на один грамм свек-

*) Числа приводятся округленными—без десятых долей.

лы, что отвечает при условиях проведенных опытов в среднем 50 кал. на 1 грамм свеклы.

Скрытая же теплота оттаивания сахарной свеклы при тех же условиях, но в пересчете на один грамм воды, содержащейся в свекле, дают среднюю величину в 45 калорий, оставаясь во всех проведенных опытах ниже 55 калорий.

Затрата тепла на общий прогрев замороженной свеклы численно не всегда находится в правильной зависимости от степени охлаждения свеклы непосредственно перед опытом и от высоты последующего ее нагрева в калориметре. В отдельных случаях наблюдаются довольно значительные уклонения от этой зависимости как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Причины этого, помимо различия в свойствах, в составе, содержании воды и т. д. отдельных испытываемых проб сахарной свеклы, приходится связывать и с некоторыми другими иного характера моментами. Одним из таковых, при условиях рассматриваемых опытов, является допущение как общего положения для всех опытов, того, что теплоемкость сахарной свеклы при всех температурах как до, так и после 0° остается неизменной и равной 0,87. Между тем в действительности, как было уже выяснено в предыдущем изложении, величина эта с понижением температуры замерзания свеклы постепенно, при том очень значительно, снижается.

При таких условиях тепловой подсчет, дающий скрытую теплоту оттаивания свеклы и величину затраты тепла на ее прогрев, естественно, оказывается не совсем правильным. При чем эта неправильность возрастает с понижением охлаждения свеклы, чем в известной степени об'ясняются некоторые расхождения результатов отдельных опытов.

Другая причина расхождения между собою полученных экспериментальных данных, а именно, отсутствие местами логически правильной зависимости количества тепла, потребного на прогрев замерзшей свеклы от глубины охлаждения последней непосредственно перед опытом, определяется тем, что количество льда, в действительности находящегося в замороженной свекле в момент прогрева ее в калориметре, может в отдельных случаях не всегда соответствовать ее температуре к данному моменту. Об'ясняется это нижеследующим. Средством замораживания свеклы, а также охлаждения ее в отдельные моменты опытов служил атмосферный холодный воздух, на который и выносилась свеже—нарезанная и отвешенная в холодной лаборатории проба свекловичной стружки, предназначенная для калориметрического определения. Для окончательного охлаждения и темперирования она выносилась на 3—4 часа, как это уже указано выше, на наружный воздух. По принятии температуры последнего, она вводилась непосредственно в калориметр.

Таким образом, расчетной температурой замораживания сахарной свеклы принималась ее температура, являющаяся в то же время температурой наружного зимнего воздуха, к моменту производства опыта. При этом принималось, что этой температурой определяется количество льда, вымороженного и находящегося в испытуемой свекле. Между тем количество льда, действительно содержащегося в этой свекле определяется не только температурой трехчасового охлаждения ее непосредственно перед опытом, но устанавливается совокупностью температурных условий и длительностью промораживания этой свеклы на наруж-

ном воздухе за весь период промерзания ее, предшествующий моменту калориметрического испытания.

Температурные же условия наружного воздуха вообще очень изменчивы, в Сибири же они чрезвычайно стремительны и связаны с резкими скачками температуры как вверх, так и вниз. Очевидно, что с изменениями температуры в известной мере меняется и количество содержащегося в свекле льда. Однако количественно эти изменения льда в свекле по целому ряду понятных причин не могут следовать в темпе за температурными изменениями наружного воздуха.

В связи с этим делается понятным неизбежность наблюдавшегося в некоторых случаях несоответствия затрат тепла на прогрев замороженной свеклы с глубиной ее охлаждения.

Примером такого положения могут служить опыты №№ 12, 13, 14 и 15, представленные таблицей I.

В опыте № 13 при температуре свеклы минус 9° С, количество тепла, идущего на прогрев ее, равно 64,1 калория, а на оттаивание одного грамма ее идет 45,0 калорий. При чем величины эти оказываются соответственно значительно большими, чем в опыте № 14, где свекла имела температуру гораздо более сниженную, отвечающую минус 29° С. То же несоответствие, но в иных численных величинах наблюдается и при взаимном сопоставлении результатов опытов № 12 и № 15, когда при разных температурах охлаждения свеклы, а именно—при минус 12° и при минус 26° С, затраты тепла на общий нагрев свеклы, а также на оттаивание одного грамма ее оказываются соответственно для этих двух опытов почти одинаковыми.

Таких примеров можно было бы найти и еще несколько, на ряду с которыми имеется много случаев иллюстрирующих совершенно правильные зависимости затрат тепла от степени охлаждения свеклы.

В общем же надо отметить, что значение степени охлаждения свеклы все же имеет относительное малое влияние на затраты тепла, идущего на общий прогрев.

Причины этого, надо полагать, лежат в том, что главная затрата тепла идет на оттаивание свеклы, точнее говоря, на таяние находящегося в ней льда. А так как это количество видимо устанавливается в условиях сибирской зимы довольно скоро после наступления сильных морозов, то поэтому и величины затрат тепла на общий прогрев свеклы не сильно колеблется и в среднем отвечает 50 калорий на 1 грамм свеклы, изменяясь в довольно узких пределах, если сравнивать среднее для отдельных групп опытов, как это представлено в таблице VI.

Та же таблица, давая скрытую теплоту оттаивания мерзлой свеклы из расчета на один грамм воды, в среднем 45 калорий, позволяет получить представление о том, сколько воды в свекле в зимний период при хранении ее в Сибири на наружном воздухе переходит в лед. Количество это легко высчитать, если принять, что в среднем в свекле по ее весу содержится воды 70%, что скрытая теплота таяния воды—80 калорий.

При этих условиях для замораживания всего количества воды, приходящейся на 1 грамм свеклы, должно было бы пойти

$$\frac{80 \times 70}{100} = 56 \text{ калорий.}$$

А так как эмпирически эта величина в среднем устанавливается для свеклы в 45 калорий, то поэтому количество вымороженной воды из одного грамма свеклы должно отвечать

$$\frac{45 \times 70}{56} = 56{,}3\%$$ по ее весу.

ВЫВОДЫ:

1) Степень первоначального охлаждения свекловичной стружки почти не имеет влияния на величину скрытой теплоты оттаивания свеклы.

2) Количество льда в замороженной сахорной свекле не постоянно и зависит от глубины и длительности промораживания свеклы.

3) Количество вымерзающей воды в свекле при промерзании ее в условиях сибирского климата в период январь—февраль близко к половине веса свеклы.

4) С увеличением процентного содержания сахара в свекловичном соке скрытая теплота оттаивания свеклы при расчете на 1 грамм воды уменьшается.

5) При прогревании сильно охлажденной свеклы до температур минус 5° С.— минус 7° С уже происходит частичное оттаивание мерзлой сахарной свеклы.

Томск.
Лаборатория Питательных Веществ
Сибирский Технологический Институт.