



Министерство образования и науки Республики Казахстан
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова
Агротехнологический факультет
Кафедра биотехнологии

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим работам

по дисциплине «Основы холодильной обработки пищевых продуктов»

для студентов специальности 050727
«Технология продовольственных продуктов»

Павлодар



УТВЕРЖДАЮ

**Декан агротехнологического
факультета**

_____ **Бексеитов Т.К.**
«__» _____ 2009г.

Составитель: к.т.н., доцент _____ К.М. Омарова

Кафедра биотехнологии

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим работам

по дисциплине «Основы холодильной обработки пищевых продуктов»

для студентов специальности 050727
«Технология продовольственных продуктов»

Рекомендована на заседании кафедры биотехнологии. «__» _____ 2010 г.
Протокол № ____.
Зав. кафедрой _____ Ж.А. Адамжанова

Одобрена учебно-методическим советом Агротехнологического факультета
«__» _____ 2010 г. Протокол № ____.
Председатель УМС _____ М.Е. Жагипарова

ВВЕДЕНИЕ

Целью преподавания дисциплины является научить студентов данной специальности использовать принципы холодильной обработки биосистем при их обработке, хранении и других технологических процессах пищевых и биотехнологических производств.

Задачи изучения дисциплины.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

знать – основы холодильной обработки биосистем, принципы действия устройств и приборов контроля и регулирования необходимых технологических параметров;

уметь - производить выбор технологии обработки пищевых продуктов;

иметь представление о процессах и изменениях, происходящих в пищевых средах при пониженных температурах.

В дисциплине подробно изложены основные теоретические и практические способы холодильной обработки биологических систем, технологические параметры и процессы, используемых при производстве холода и его применении; классификация холодильников и области их применения.

Практические работы должны способствовать самостоятельному творческому подходу к решению практических задач, приобретению навыков сбора материала и изучению его с применением научно-исследовательских методов. В ходе практических занятий глубже прорабатываются основные положения предмета и приобретаются навыки работы с холодильными технологиями и аппаратами, справочной литературой и определителями.

Программа курса рассчитана на 3 кредита (135 часов), согласно каталогу элективных дисциплин по направлениям подготовки специальности «Технология продовольственных продуктов».

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практическая работа №1

Тема: Изменение теплофизических параметров пищевых продуктов

Цель работы: рассмотреть пример расчета по теме теплофизические и механические характеристики пищевых продуктов.

Тепловые расчеты процессов холодильной технологии пищевых продуктов могут быть выполнены только в том случае, если известны теплофизические характеристики этих продуктов и их зависимость от температуры.

Наиболее важные теплофизические характеристики пищевых продуктов:

- удельная теплоемкость c [Дж/(кг · К)];
- коэффициент теплопроводности λ [Вт/(м · К)];
- коэффициент температуропроводности a (м²/с);
- плотность продукта ρ (кг/м³).

При этом

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}. \quad (1.1)$$

К теплофизическим характеристикам относят температуру начала замерзания пищевых продуктов, называемую криоскопической температурой $t_{кр}$ (°С); теплоту кристаллизации влаги r (Дж/кг), а также некоторые менее употребительные, такие, как теплота затвердевания жиров в продукте и теплота дыхания растительных продуктов.

Теплофизические характеристики продуктов зависят от их природных свойств (состава, строения). Различия свойств продуктов определяются их химической и физической неоднородностью. Химическая неоднородность зависит от состава продукта, физическая - от структуры и стереометрического распределения отдельных составных частей в продукте. В понятие структуры включают размер и направление волокон у животных продуктов, пористость, размер клеток и распределение газовых включений у растительных продуктов. Различие теплофизических характеристик продуктов одного товарного наименования связано с различием их химического состава (содержания влаги, белка, жира и сухих веществ).

Теплофизические характеристики зависят от температуры. При отсутствии фазовых переходов (отвердевания, плавления, льдообразования) эти изменения невелики. При переходе воды в твердую фазу эти изменения значительны, что связано с различием свойств воды и льда.

Вода - основной компонент сырья и готовых пищевых продуктов. Массовая доля воды колеблется в широких пределах: в растительных продуктах - от 80 % для груш до 95 % для помидоров и огурцов; в животных продуктах - от 50 % для жирной свинины до 78 % для говядины.

В пищевых продуктах вода содержится в виде растворов. Содержание в воде веществ, образующих с ней истинный раствор, обуславливает изменение ее характерных свойств: снижение температуры начала замерзания (криоскопической температуры), повышение температуры кипения и снижение давления водяного пара над раствором.

Криоскопическая температура подчиняется закону Рауля: понижение криоскопической температуры раствора $t_{кр}$ по сравнению с температурой замерзания чистого растворителя t_0 (для воды $t_0 = 0$ °С) пропорционально суммарной моляльной концентрации растворенных веществ. Коэффициент пропорциональности ω , называемый криоскопической постоянной, для воды равен 1,86 (кг · °С)/моль.

При температурах, равных криоскопической и ниже нее, образующиеся кристаллы льда практически не содержат растворенных веществ, поэтому при понижении температуры одно и то же количество растворенных веществ приходится на все меньшее количество воды; следовательно, концентрация раствора повышается и криоскопическая температура его понижается. Это приводит к тому, что вода в продукте вымораживается постепенно при понижении температуры. Таким образом, естественно появляется понятие доли вымороженной воды $\omega(t_{кр})$ как функции температуры. Безразмерная величина $\omega(t_{кр})$ имеет смысл доли содержащейся в продукте воды, которая переходит в лед при понижении температуры продукта до t . Очевидным образом функция ω имеет смысл лишь при $t \leq t_{кр}$, причем $\omega(t_{кр}) = 0$, поскольку при криоскопической температуре вода лишь начинает вымерзать.

Используя закон Рауля, можно просто получить явный вид функции $\omega(t_{кр})$. Действительно, при любой температуре t доля вымороженной воды должна быть такова, чтобы криоскопическая температура оставшегося раствора равнялась t . Но разность температур криоскопической и t_0 пропорциональна моляльной концентрации растворенных веществ. Поскольку количество растворенных веществ остается неизменным, то эта концентрация, в свою очередь, обратно пропорциональна доле оставшейся незамерзшей воды, которая при температуре t равна $1 - \omega(t)$, а при криоскопической температуре $t_{кр}$ равна 1. Таким образом, имеем

$$\frac{1 - \omega(t)}{1} = \frac{t_{кр} - t_0}{t - t_0}; \quad \omega(t) = \frac{t_{кр} - t_0}{t - t_0} = 1 - \frac{t_{кр}}{t}. \quad (1.2)$$

Выражение (1.2) просто и удобно, и им широко пользуются в холодильной технологии. Однако оно не вполне точное: опытные и расчетные значения ω различаются на 7... 10 %, причем наибольшее различие приходится на область низких температур.

ПРИМЕР.

Исходные данные.

Замораживается филе морского окуня от начальной температуры $t_{\text{нач}} = 20$ °С до конечной $t_{\text{кон}} = -18$ °С. Оценить количество теплоты, которое необходимо отвести от 1 кг продукта. Криоскопическая температура для морской рыбы $t_{\text{кр}} = -2$ °С; влажность $w = 0,8$; доля незамерзающей воды 0,4; удельная теплоемкость незамороженного филе $c_n = 3500$ Дж/(кг · К), замороженного - $c = 1800$ Дж/(кг · К).

Решение.

Теплота, отводимая от незамороженного филе:

$$Q_1 = c_n(t_{\text{нач}} - t_{\text{кр}}) = 3500 \cdot (20 - (-2)) = 77000 \text{ Дж/кг.}$$

Доля вымороженной воды

$$\omega = (1 - 0,4) \cdot \left(1 - \frac{-2}{-18}\right) = 0,53.$$

Теплота кристаллизации воды

$$Q_2 = r \cdot w \cdot \omega = 330000 \cdot 0,8 \cdot 0,53 = 140000 \text{ Дж/кг.}$$

Теплота, отводимая от замороженной части,

$$Q_3 = c(t_{\text{кр}} - t_{\text{кон}}) = 1800 \cdot (-2 - (-18)) = 29000 \text{ Дж/кг.}$$

Суммарная теплота

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 246000 \text{ Дж/кг.}$$

Время выполнения: 2 часа

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Тема: Пример расчета оборудования камеры охлаждения фруктов

Исходные данные.

В камере охлаждения фруктов (рис. 1) с температурой $t_{\text{пм}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ находятся яблоки, упакованные в деревянные ящики. Начальная температура яблок $t_{\text{нач}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, конечная $t_{\text{кон}} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Цель расчета.

Определить продолжительность охлаждения, вместимость камеры, тепловую нагрузку на камерное оборудование, подобрать воздухоохладители.

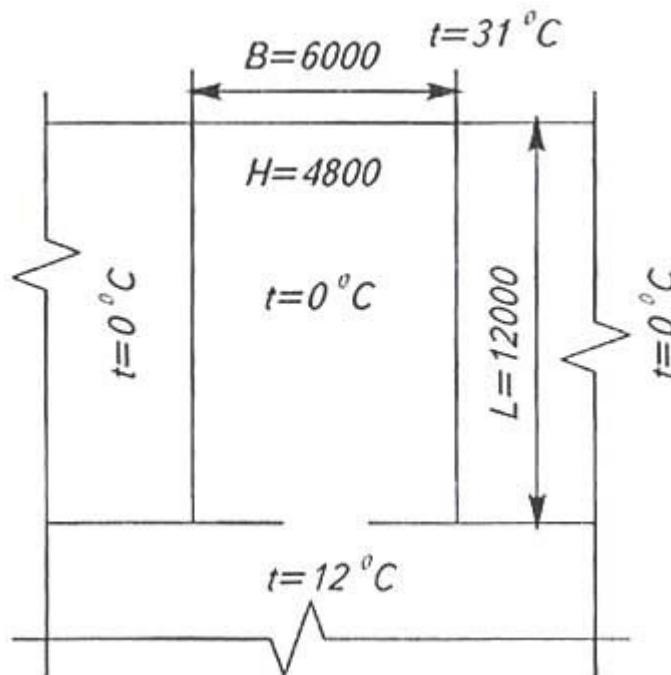


Рисунок 1 - Конструктивная схема камеры охлаждения фруктов.

Методика расчета.

Для качественного и интенсивного охлаждения фруктов, уложенных в ящики, формируем штабель таким образом, чтобы обеспечить через него инфильтрацию холодного воздуха. При таком складировании норма загрузки камеры 15 %, а отнесенная к 1 м^2 строительной площади камеры составляет $g_f = 400 \text{ кг/м}^2$ (см. приложение 1).

Для пересчета q_v и g_f необходимо разделить значения q_v на высоту штабеля.

Строительная площадь камеры $F_{\text{кам}} = LB = 12 \cdot 6 = 72 \text{ м}^2$.

Вместимость камеры $M = F_{\text{кам}} g_f = 72 \cdot 400 = 28800 \text{ кг} = 28,8 \text{ т}$.

Продолжительность охлаждения яблок, уложенных в деревянную тару, рассчитывается (в нашем случае составит $\tau = 248400 \text{ с} = 69 \text{ ч}$).

Теплоприток (Вт) через ограждающие конструкции камеры рассчитываем с учетом теплопритока от солнечной радиации только через кровлю холодильника:

$$Q_1 = \Sigma (k_i F_i \Delta t_i) + k F \Delta t_c,$$

где k - коэффициент теплопередачи ограждения; принимаем для наружной стены $0,40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, внутренней с коридором - $0,52 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, покрытия - $0,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\Delta t_{\text{сл}}$ - дополнительная разность температур от солнечной радиации; $\Delta t_{\text{сл}} = 18 \text{ }^\circ\text{С}$.

После подстановки получим:

$$Q_1 = 0,40 \cdot 6 \cdot 4,8 \cdot (31 - 0) + 0,52 \cdot 6 \cdot 4,8 \cdot (12 - 0) + 0,37 \cdot 6 \cdot 12 \cdot (31 - 0) + 0,37 \cdot 6 \cdot 18 \cdot (12 - 0) = 1843 \text{ Вт} \approx 1,84 \text{ кВт}.$$

Теплоприток (кВт) от охлаждаемых яблок, упакованных в ящики,

$$Q_2 = \left[M c_{\text{яб}} \frac{t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}}{\tau} + M_T c_T \frac{t_{\text{нач}} - t_{\text{к.т}}}{\tau} \right] K,$$

где $c_{\text{яб}}$ - удельная теплоемкость яблок, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ (см. приложение 2); c_T - удельная теплоемкость тары, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ (см. приложение 3); M_T - масса тары; $M_T = 0,2M = 0,2 \cdot 28800 = 5760 \text{ кг}$; $t_{\text{к.т}}$ - температура тары в конце охлаждения; принимаем $t_{\text{к.т}} = 3 \text{ }^\circ\text{С}$; K - коэффициент неравномерной тепловой нагрузки по времени (для камер с периодической нагрузкой-выгрузкой $K = 1,2 \dots 1,3$).

После подстановки имеем:

$$Q_2 = \left[28800 \cdot 3,72 \cdot \frac{25 - 6}{248400} + 5760 \cdot 2,51 \cdot \frac{25 - 3}{248400} \right] \cdot 1,3 = 12,3 \text{ кВт}.$$

Теплоприток (Вт) от биохимических процессов, протекающих в яблоках:

$$Q_{26} = M q_6,$$

где q_6 - удельная теплота биохимического процесса (см. приложение 4); $q_6 = 9 \dots 11 \text{ Вт}/\text{т}$. Принимаем $q_6 = 9 \text{ Вт}/\text{т}$.

После подстановки имеем:

$$Q_{26} = 28,8 \cdot 9 = 260 \text{ Вт} = 0,26 \text{ кВт}.$$

Эксплуатационные теплопритоки принимаем ориентировочно:

$$Q_4 = 0,2 Q_2 = 0,2 \cdot 12,3 \approx 2,5 \text{ кВт}.$$

Тепловая нагрузка на камерное оборудование

$$Q_0 = 1,84 + 12,3 + 0,26 + 2,5 = 16,9 \text{ кВт}.$$

Площадь теплообменной поверхности воздухоохладителей (м^2) должна быть не менее

$$F_{\text{во}} = \frac{Q_0}{k_0 \theta_0},$$

где k_0 - коэффициент теплопередачи воздухоохладителя; принимаем $k_0 = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (см. приложение 5); θ_0 - температурный напор; для фруктовых

камер с целью уменьшения опасности подмораживания продуктов принимают θ_0 в пределах 5...6 К.

После подстановки получим:

$$F_{\text{во}} = \frac{16900}{15 \cdot 6} = 188 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке в камере аммиачные воздухоохладители марки GHP 065 E/116 (см. приложение 6). Воздухоохладитель имеет площадь теплообменной поверхности $f_{\text{в}}=55,4 \text{ м}^2$, шаг оребрения $t_{\text{р}}=16 \text{ мм}$, мощность электродвигателей вентиляторов $N_{\text{вен}}=0,75 \text{ кВт}$, два вентилятора ($n_{\text{вен}} - 2$), общая объемная подача вентиляторов $V_{\text{во}}=V_{\text{вен}}=9100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Тогда число установленных воздухоохладителей

$$n_{\text{во}} = \frac{F_{\text{во}}}{f_{\text{в}}} = \frac{188}{55,4} \approx 4.$$

Суммарная объемная подача вентиляторов четырех воздухоохладителей $V_{\text{с}}=n_{\text{во}}V_{\text{вен}} = 4 \cdot 9100 = 36400 \text{ м}^3/\text{ч}=10,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Кратность циркуляции воздуха в камере

$$z = \frac{V_{\text{с}}}{LBH} = \frac{36400}{12 \cdot 6 \cdot 4,8} = 105 \text{ ч}^{-1}.$$

Для камер интенсивного охлаждения фруктов рекомендуемое значение кратности циркуляции 100...200 ч^{-1} , т. е. подобранные воздухоохладители удовлетворяют технологическим условиям работы такой камеры.

Действительная тепловая нагрузка на камерное оборудование (кВт)

$$Q_{\text{д}} = Q_1 + Q_2 + Q_{26} + n_{\text{во}} n_{\text{вен}} \frac{N_{\text{вен}}}{2}.$$

После подстановки получим:

$$Q_{\text{д}} = 1,84 + 12,3 + 0,26 + 4 \cdot 2 \cdot \frac{0,75}{2} = 17,4 \text{ кВт},$$

что примерно равно Q_0 , и дополнительных перерасчетов делать не требуется.

Величина охлаждения воздуха в воздухоохладителях ($^{\circ}\text{C}$)

$$\Delta t = \frac{Q_{\text{д}}}{V_{\text{с}} c_{\text{в}} \rho_{\text{в}}},$$

где $c_{\text{в}}$ - удельная теплоемкость воздуха при температуре воздуха камеры, кДж/(кг·К); $\rho_{\text{в}}$ - плотность воздуха $\text{кг}/\text{м}^3$ (см. приложение 7).

После подстановки имеем:

$$\Delta t = \frac{17,4}{10,1 \cdot 1 \cdot 1,3} = 1,3 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Для камер охлаждения рекомендуемое подохладение воздуха составляет $\Delta t=1...4 \text{ К}$. Следовательно, подобранные воздухоохладители удовлетворяют технологическим требованиям.

На рис. 2 показано размещение подобранных воздухоохладителей.

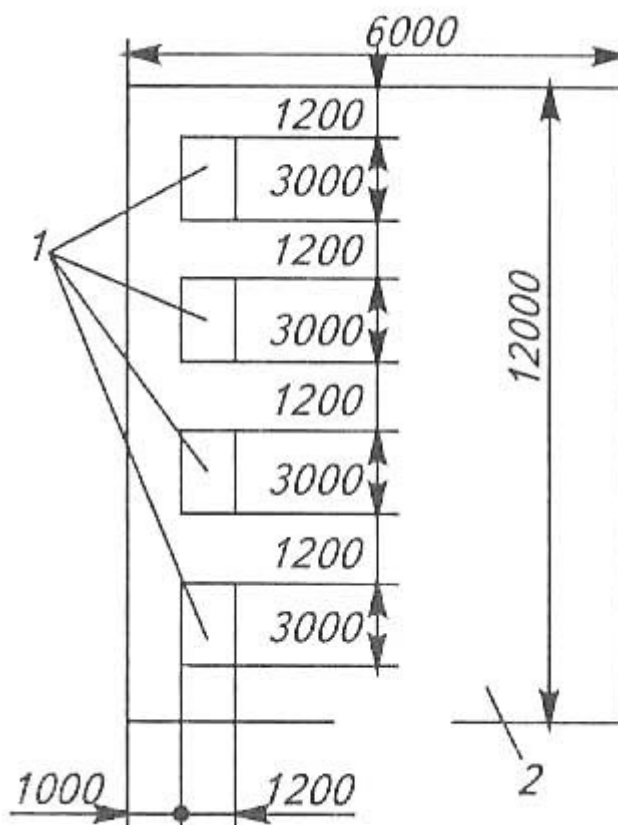


Рисунок 2 - Размещение воздухоохладителей в камере охлаждения фруктов: 1 - воздухоохладитель; 2 - камера.

Возможен и другой вариант решения этой задачи с использованием фреоновых воздухоохладителей, например типа GHP марки 071D/110 (см. приложение 8). Воздухоохладитель имеет площадь теплообменной поверхности $f_{\text{во}}=114,1 \text{ м}^2$, шаг оребрения $t_p=10 \text{ мм}$, один вентилятор ($n_{\text{вен}}=1$), объемную подачу вентилятора $V_{\text{во}}=V_{\text{вен}}=13230 \text{ м}^3/\text{ч}$. Тогда число установленных воздухоохладителей

$$n_{\text{во}} = \frac{F_{\text{во}}}{f_{\text{во}}} = \frac{188}{114,1} = 2.$$

Суммарная объемная подача вентиляторов двух воздухоохладителей $V_{\text{с}} = n_{\text{во}} V_{\text{вен}} = 2 \cdot 13230 = 26460 \text{ м}^3/\text{ч} = 7,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

Применение фреоновых воздухоохладителей позволяет укомплектовать каждый воздухоохладитель автоматизированным компрессорно-конденсаторным агрегатом, например Н9-LSG-40X (см. приложение 9). Агрегат обеспечивает холодопроизводительность $Q_0=8,5 \text{ кВт}$ при температуре кипения фреона $t_0= -5 \text{ }^\circ\text{С}$ и температуре окружающего воздуха $t_{\text{н.в}}=27 \text{ }^\circ\text{С}$.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Тема: Пример расчета криоморозильного аппарата для замораживания антрекотов посредством азота

Исходные данные.

Криоморозильный аппарат для замораживания антрекотов посредством азота имеет производительность $G = 300 \text{ кг/ч} = 0,083 \text{ кг/с}$. Начальная температура продукта $t_{\text{нач}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, конечная $t_{\text{кон}} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$. Размеры антрекотов: $l_{\text{ант}} = 0,2 \text{ м}$, $b_{\text{ант}} = 0,1 \text{ м}$, $\delta_{\text{ант}} = 0,02 \text{ м}$.

Цель расчета.

Определить продолжительность замораживания антрекотов, вместимость аппарата и его габаритные размеры, скорость движения ленты транспортера, тепловую нагрузку на аппарат, полный и удельный расход жидкого азота, подобрать циркуляционный вентилятор по объемному потоку и развиваемому напору, выбрать отсасывающий вентилятор.

Методика расчета.

Рассчитываем аппарат с тремя зонами:

- предварительного охлаждения;
- замораживания;
- выравнивания температур.

В первой зоне аппарата теплоотводящей средой служит газообразный азот, нагревающийся до $t_y = -30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Общая продолжительность нахождения продукта в аппарате складывается из продолжительности обдува $\tau_I + \tau_{II}$ и продолжительности орошения τ_{III} :

$$\tau = \tau_I + \tau_{II} + \tau_{III} = 385 + 105 = 490 \text{ с} = 8,2 \text{ мин.}$$

Тогда вместимость аппарата

$$M = G\tau = 0,083 \cdot 490 \approx 40 \text{ кг.}$$

Плотность загрузки продуктом, отнесенная к 1 м^2 площади ленты конвейера при ширине ленты $b_{\text{конв}} = 0,6 \text{ м}$ и укладке антрекотов длинной стороной вдоль ленты, составит $g_f = 10 \text{ кг/м}^2$. Длина ленты конвейера

$$L_{\text{конв}} = \frac{M}{g_f b_{\text{конв}}} = \frac{40}{10 \cdot 0,6} = 6,5 \text{ м.}$$

Скорость движения ленты конвейера

$$w_{\text{конв}} = \frac{L_{\text{конв}}}{\tau} = \frac{6,5}{8,2} = 0,8 \text{ м/мин.}$$

Габариты аппарата принимаем с учетом следующих соображений. Длина с учетом диаметра барабана конвейера (0,4 м), размеров двух зазоров ($2 \cdot 0,1 \text{ м}$) и толщины теплограждающей конструкции ($2 \cdot 0,3 \text{ м}$), а также зоны выравнивания температуры (1,2 м) составит:

$$L_{\text{ап}} = 6,5 + 0,4 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,3 + 1,2 = 9,2 \text{ м.}$$

Ширина аппарата

$$B_{\text{ап}} = 0,6 + 2 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,3 = 1,5 \text{ м.}$$

Высота аппарата зависит от конструктивных особенностей, удобства обслуживания, размеров вентиляторов и необходимости создания расчетной скорости движения азота вдоль конвейера.

Расход азота $M_{аз} = 1,18$ кг на 1 кг замораживаемого продукта. Тогда расход жидкого азота

$$G_{аз} = GM_{аз} = 0,083 \cdot 1,18 = 0,098 \text{ кг/с.}$$

Объемный поток газообразного азота в зоне обдува

$$V_{аз.ср} = \frac{G_{аз}}{\rho_{аз.ср}} = \frac{0,098}{1,8} = 0,054 \text{ м}^3/\text{с.}$$

где $\rho_{аз.ср}$ - плотность азота при среднелогарифмической температуре в зоне обдува $t \approx -90$ °С (см. [приложение](#)); $\rho_{аз.ср} = 1,8$ кг/м³.

Необходимое сечение канала для циркуляции азота определяем из уравнения сплошности:

$$S_{кан} = \frac{V_{аз.ср}}{w_{аз}} = \frac{0,054}{10} = 0,0054 \text{ м}^2.$$

где $w_{аз.ср}$ - скорость азота, м/с; принимаем $w_{аз.ср} = 10$ м/с.

Порозность укладки продукта

$$\varepsilon = 1 - \frac{G_f}{\rho_{ант} \delta_{ант}} = 1 - \frac{10}{1030 \cdot 0,02} = 0,5,$$

где $\rho_{ант}$ - плотность мяса, кг/м³.

Живое сечение для прохода азота в слое продукта

$$S_{ж} = b_{конв} \delta_{ант} \varepsilon = 0,6 \cdot 0,02 \cdot 0,5 = 0,006 \text{ м}^2.$$

Необходимая высота канала

$$h_{кан} = \delta_{ант} + \frac{S_{кан} - S_{ж}}{b_{кан}} = 0,02 + \frac{0,0054 - 0,006}{0,6} = 0,019 \text{ м.}$$

В связи с тем что $h_{кан} \approx \delta_{ант}$, следует уменьшить ширину ленты, принимая $b_{конв} = 0,4$ м. При высоте канала $h_{кан} \geq 0,03$ м получим сечение канала $S_{кан} = b_{конв} h_{кан} = 0,4 \cdot 0,03 = 0,012 \text{ м}^2$. Антрекоты в количестве трех штук займут площадь $S_{кан} = 3 \cdot 0,1 \cdot 0,02 = 0,006 \text{ м}^2$, а живое сечение для прохода азота при этом останется $S_{ж} = 0,006 \text{ м}^2$. Тогда действительная скорость движения азота в зоне предварительного охлаждения будет равна

$$w_{аз.д} = \frac{0,054}{0,006} = 9 \text{ м/с.}$$

Длина более узкой ленты конвейера

$$L_{конв} = \frac{M}{G_f b_{конв}} = \frac{40}{10 \cdot 0,4} = 10 \text{ м.}$$

Сечение канала в этой зоне орошения составит $S_{кан} = S_{ж} + S_{ант} = 0,006 + 0,006 = 0,012 \text{ м}^2$, а высота канала будет равна

$$h_{кан} = \frac{S_{кан}}{b_{конв}} = \frac{0,012}{0,4} = 0,03 \text{ м.}$$

Конструктивная схема аппарата приведена на рис. 1.

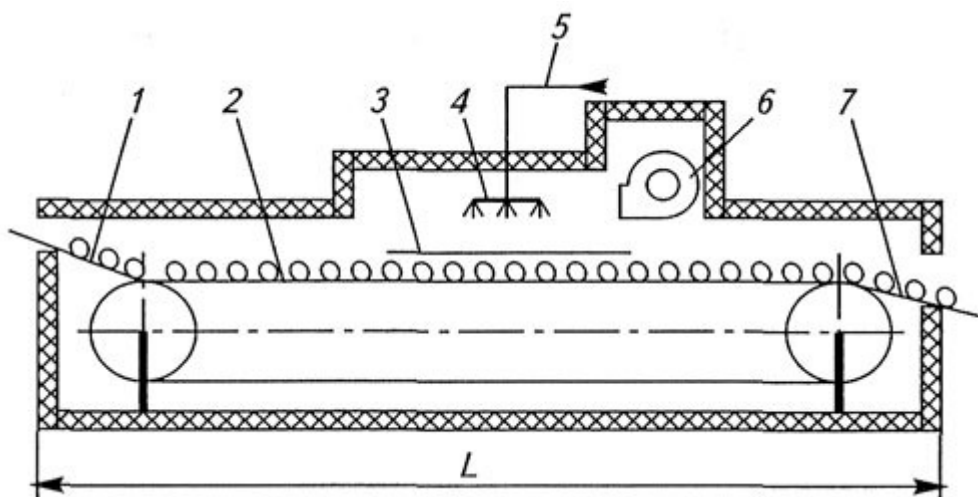


Рис.1. Криоморозильный аппарат:

- 1 - участок загрузки; 2-грузовой конвейер; 3 - перегородка;
 4 - коллектор с форсунками; 5 - трубопровод для подачи жидкого азота; 6 - вентилятор; 7 - участок разгрузки

Аэродинамическое сопротивление (Па) движению азота в зоне замораживания состоит из потерь напора на трение у антрекотов $\Delta p_{тр}$, потерь напора на поворотах $\Delta p_{пов}$, потерь напора на входе в вентилятор $\Delta p_{вх}$:

$$\Delta p = 1,1(\Delta p_{тр} + \Delta p_{пов} + \Delta p_{вх}).$$

Потери напора (Па) при движении азота в канале у антрекотов

$$\Delta p_{тр} = \zeta_{ант} z_{ант} \rho_{аз} \frac{w_{аз,д}^2}{2},$$

где $\zeta_{ант}$ - коэффициент местного сопротивления у продукта;

$$\begin{aligned} \zeta_{ант} &= \left(1 - \frac{2\delta_{ант} - \delta_{ант}(1-\varepsilon)}{2\delta_{ант}}\right) + \left(1 - \frac{2\delta_{ант} - \delta_{ант}(1-\varepsilon)}{2\delta_{ант}}\right)^2 = \\ &= \left(1 - \frac{2 \cdot 0,02 - 0,02 \cdot (1-0,5)}{2 \cdot 0,02}\right) + \left(1 - \frac{2 \cdot 0,02 - 0,02 \cdot (1-0,5)}{2 \cdot 0,02}\right)^2 = 0,3; \end{aligned}$$

$z_{ант}$ - число антрекотов на пути движения азота (в зоне замораживания на длине ленты можно разместить 12 антрекотов); $\rho_{аз} = 1,8 \text{ кг/м}^3$ плотность пара азота.

Тогда

$$\Delta p_{тр} = 0,3 \cdot 12 \cdot 1,8 \cdot \frac{g^2}{2} = 270 \text{ Па.}$$

Потери напора на трех поворотах

$$\Delta p_{пов} = \zeta_{пов} n_{пов} \rho_{аз} \frac{w_{пов}^2}{2} = 1,5 \cdot 3 \cdot 1,8 \cdot \frac{1,35^2}{2} = 7,4 \text{ Па.}$$

где $\zeta_{пов}$ - коэффициент местного сопротивления поворота; $n_{пов}$ - число поворотов; $n_{пов} = 3$; $w_{пов}$ - скорость азота на поворотах, м/с;

$$w_{пов} = \frac{V_{аз}}{S_{пов}} = \frac{0,054}{0,004} = 1,35 \text{ м/с.}$$

$S_{пов}$ - сечение поворота, м^2 ; $S_{пов} = (h_{кан} - \delta_{ант}) b_{конв} = (0,03 - 0,02) \cdot 0,4 = 0,004 \text{ м}^2$.

Принимаем к установке центробежный вентилятор Ц4-70 № 2,5. Аэродинамическое сопротивление канала для удаления азота принимаем равным 50 Па (при длине канала около 30 м).

Скорость во входном окне вентилятора ($d_{ВХ} = 0,25$ м) составляет:

$$W_{ВХ} = \frac{4V_{аз.кон}}{\pi d_{ВЕНТ}^2} = \frac{4 \cdot 0,076}{\pi \cdot 0,25^2} = 1,55 \text{ м/с},$$

где $V_{аз.кон}$ - объем азота при температуре $-30 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{аз.кон} = 0,076 \text{ м}^3/\text{с}$.

Тогда

$$\Delta p_{ВХ} = \zeta_{ВХ} \rho_{аз.кон} \frac{W_{ВХ}^2}{2} = 0,5 \cdot 1,3 \cdot \frac{1,55^2}{2} = 0,8 \text{ Па}.$$

При объемной подаче, равной $0,076 \text{ м}^3/\text{с}$, и развиваемом напоре $\Delta p = 1,1$ ($\Delta p_{тр} + \Delta p_{пов} + \Delta p_{ВХ}$) = $1,1(270 + 7,4 + 0,8) = 306$ Па принятый к установке вентилятор имеет коэффициент полезного действия $\eta = 0,35$, а потребляемая его электродвигателем мощность составляет:

$$N_{эл} = \frac{V_{аз} \Delta p}{\eta_{ВЕНТ}} = \frac{0,076 \cdot 306}{0,35} = 66,5 \text{ Вт} = 0,0665 \text{ кВт}.$$

Суммарная мощность, потребляемая двумя вентиляторами, составляет $0,0665 \cdot 2 = 0,133$ кВт.

Литература:

1. Бабакин Б.С., Тихонов Б.С., Юрчинский Ю.М. Совершенствование холодильной техники и технологии. – М.: Галактика-ИГМ, 1992.
1. Головкин Н.А. Холодильная технология пищевых продуктов. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
2. Ильясов В.С., Полушкин В.И., Васильева Н.Л. Холодильная технология продуктов в мясной и молочной промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.
3. Лашутина Н.Г. Холодильная техника в мясной и молочной промышленности. - 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989.
2. Руцкий А.В. Холодильная технология обработки и хранения продовольственных продуктов. – Минск: Высшая школа, 1991.
3. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов / Под. ред. Э.И. Каухчешвили. – М.: Агропромиздат, 1985.
4. Холодильная техника и технология: Учебник / Под. ред. А.В. Рудского. – М.: ИНФРА-М, 2000.
5. Цуранов О.А., Евреинова В.С. Лабораторный практикум по холодильной технологии пищевых продуктов. – Л.: Политехника, 1983.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Плотность укладки продуктов

Продукт	Плотность ρ_v , кг/м ³	Продукт	Плотность ρ_v , кг/м ³
Масло сливочное	700	Говядина замороженная:	
Сыр без тары	500	в полутушах	300
Яйцо	300	в четвертинах	350
Цитрусовые	300	Свинина замороженная	450
Плоды	350...400	Мясо замороженное в блоках	600
Капуста в контейнерах	300	Птица в ящиках	400
Картофель в контейнерах	500	Рыба замороженная в блоках	600
Консервы разные	450		
Мясо в стоечных поддонах	600		

Приложение 2. Удельная теплоемкость и теплопроводность продуктов

Продукт	Удельная теплоемкость c , кДж/(кг·К)		Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	
	охлажденного	замороженного	охлажденного	замороженного
Говядина	3,4	1,67...2,5	0,45...0,50	1,09...1,59
Свинина	2,85	1,59	0,37...0,49	0,72...1,56
Рыба	3,5...3,64	1,8...1,90	0,53	1,19...1,40
Птица	3,18	1,55	0,41	1,30
Колбаса полукопченая	2,40	—	0,50...0,55	—
Клубника	3,85	1,75	0,48	1,11
Вишня	3,34	2,52	0,52	1,34
Клюква	3,77	2,10		
Персики	3,81	1,72		
Фруктовые соки	3,60...4,00	2,00...2,20	0,55	2,08
Смородина	3,77	2,10	—	—
Сливы	3,68	2,00	—	—
Огурцы	4,06	2,05	0,53	1,25
Картофель	3,43	1,80	0,48	1,09
Лук репчатый	3,81	2,13	0,47	1,30
Свекла	3,77	2,01	0,63	1,12
Томаты	3,85	1,92	0,60	1,40
Яйца	3,56	1,88	0,42	0,96
Морковь	3,89	1,88	0,62	1,10
Яблоки	3,72	1,82	—	—
Цветы	3,85	—	—	—
Шкуры	3,85	—	—	—
Тесто	2,80	2,30	0,84	—

Приложение 3. Характеристика тары для продукции

Материал тары	Масса тары, % массы продукта	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)
Стекло	100	0,84
Дерево	20	2,51
Картон	10	1,67
Пластмасса	20	2,09
Металл:	15	0,84
алюминий		
сталь	20	0,42
Металл (тара-контейнер)	100	0,42

Примечание. Масса стеклянной бутылки вместимостью 0,5 л составляет 0,28 кг, масса банки вместимостью 1 л — 0,36 кг.

Приложение 4. Удельная теплота биологического процесса, протекающего в продукте

Плоды	Удельный теплоприток (Вт/кг) при температуре, °С				
	0	5	10	15	20
Абрикосы	0,015	0,023	0,110	—	—
Апельсины	0,011	0,019	—	0,067 (16 °С)	—
Бананы	—	—	—	0,044 (12 °С)	0,123
Виноград	0,005	0,009	0,032	—	—
Вишня	0,021	—	—	0,161 (16 °С)	—
Горошек	0,110	—	—	0,531 (16 °С)	—
Картофель	0,009	0,019	—	0,039 (16 °С)	—
Клубника	0,044	0,078	0,233	—	—
Клюква	0,009	0,012	0,023	—	—
Лимоны	0,008	0,011	—	0,040 (16 °С)	—
Огурцы	0,018	0,026	—	0,113 (16 °С)	—
Сыр	—	—	0,13	—	—
Фасоль	0,064	0,090	—	0,283 (16 °С)	—
Яблоки	0,009...0,011	0,019	0,078	—	—
Ягоды	0,074	—	—	0,223 (16 °С)	—

**Приложение 5. Коэффициент теплопередачи воздухоохлаждателей
при температурном напоре $\theta_{\text{во}} = 10 \text{ К}^*$**

Воздухоохладитель	Значения $k_{\text{во}}$ [Вт/(м ² ·К)] при температуре хладагента или хладоносителя, °С				
	-40	-30	-20	-15	0
Из оребренных труб:					
аммиачный с нижней подачей	11,6	12,2	13,2	14,0	17,0
» с верхней подачей	10,4	11,0	11,8	12,6	15,3
с промежуточным хладоносителем	10,4	11,0	11,8	12,6	15,3
фреоновый	17,5	18,4	19,3	21,0	23,3
Из гладких труб аммиачный	30	32	35	40	45

* При значениях температурного напора, отличающихся от 10 К, коэффициент теплопередачи следует умножить на поправку $(\theta_{\text{во}}/10)^{0,22}$.

Приложение 6. Аммиачные воздухоохлаждатели

Характеристики воздухоохлаждателей GHP и AB2

Марка	Шаг между ребрами $t_{\text{р}}$, мм	Площадь поверхности теплообмена $f_{\text{во}}$, м ²	Объемная подача $V_{\text{во}}$, м ³ /ч	Мощность вентиляторов $N_{\text{вен}}$, кВт	Габаритные размеры, мм $l_{\text{во}} \times b_{\text{во}} \times h_{\text{во}}$	Масса, кг
045E/18	8	36,5	4800	0,55	1210 × 790 × 765	158
050E/18	8	60,7	6800	0,55	1410 × 836 × 783	236
065E/18	8	102,1	8700	0,75	1860 × 992 × 1023	406
080E/18	8	131,2	18300	1,5	2260 × 1236 × 1263	510
080G/18	8	218,7	17000	1,5	2260 × 1456 × 1280	767
065F/112	12	88,7	8700	0,75	1860 × 1236 × 1040	428
080C/112	12	123,5	16200	1,5	1960 × 1236 × 1236	526
080D/112	12	148,2	15800	1,5	1960 × 1456 × 1280	628
080H/112	12	182,4	17000	1,5	2260 × 1456 × 1280	739
065E/116	16	55,4	9100	0,75	1860 × 992 × 1023	323
080B/116	16	77,1	16900	1,5	1960 × 1236 × 1263	416
080D/116	16	115,6	16200	1,5	1960 × 1456 × 1280	571
080H/116	16	143,3	17300	1,5	2260 × 1456 × 1280	670
050F/28	8	151,8	13200	1,1	2490 × 1178 × 800	536
065E/28	8	204,2	17400	1,5	3060 × 992 × 1033	755
065F/28	8	255,2	17000	1,5	3060 × 1212 × 1040	928
050F/212	12	105,6	13600	1,1	2490 × 1178 × 800	454
065F/212	12	177,4	17400	1,5	3060 × 1236 × 1040	790
080D/212	12	296,4	31600	3,0	3260 × 1460 × 1280	1163
080B/216	16	154,2	33800	3,0	3260 × 1236 × 1263	763
080C/216	16	192,8	33200	3,0	3260 × 1236 × 1263	889
080D/216	16	231,2	32400	3,0	3260 × 1456 × 1280	1051
AB2-50	13,4	50,0	4750/6840	0,8/1,2	1900 × 1000 × 730	340
AB2-75	8,6	75,0	4750/6840	0,8/1,2	1900 × 1000 × 730	380
AB2-100	17,5	100,0	9750/19440	2,2/3,0	1900 × 2200 × 800	735
AB2-150	11,3	150,0	9750/19440	2,2/3,0	1900 × 2200 × 800	735
AB2-250	13,4/17,5	250,0	35280/54000	3,0/8,0	2200 × 2000 × 1300	1570

Приложение 7. Физические свойства сухого воздуха

Температура, °С	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Температуро-проводность × 10 ² , м ² /с	Динамический коэффициент вязкости × 10 ⁶ , Па·с	Кинематический коэффициент вязкости × 10 ⁶ , м ² /с	Число Прандтля
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	11,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698

Приложение 8. Фреоновые воздухоохладители

Воздухоохладители типа GHP с одним вентилятором

Марка	Шаг между ребрами t_p , мм	Площадь поверхности теплообмена $f_{во}$, м ²	Объемная подача $V_{во}$, м ³ /ч	Габаритные размеры, мм $l_{во} \times b_{во} \times h_{во}$	Масса, кг
041A/14	4	28,8	2800	996 × 665 × 565	47
041B/14	4	36,0	2650	996 × 665 × 565	51
046A/14	4	46,1	4340	1196 × 685 × 665	63
046B/14	4	57,7	4220	1196 × 685 × 665	70
051B/14	4	72,1	5590	1396 × 690 × 665	82
066A/14	4	102,5	9390	1831 × 785 × 965	151
066B/14	4	128,1	9020	1831 × 785 × 965	165
071A/14	4	134,5	13200	2046 × 865 × 1065	186
071B/14	4	168,2	12650	2046 × 865 × 1065	204
081A/14	4	182,8	18440	2231 × 955 × 1265	251
041B/17	7	21,2	2990	996 × 665 × 565	45
041C/17	7	25,5	2910	996 × 665 × 565	49
046B/17	7	34,0	4500	1196 × 685 × 665	61
046C/17	7	40,7	4430	1196 × 685 × 665	66
051C/17	7	50,9	5860	1396 × 690 × 665	77
066A/17	7	60,3	10110	1831 × 785 × 965	136
066B/17	7	75,4	9870	1831 × 785 × 965	148
066C/17	7	90,5	9660	1831 × 785 × 965	158
071B/17	7	99,0	13880	2046 × 865 × 1065	181
071C/17	7	118,8	13570	2046 × 865 × 1065	194
081B/17	7	134,5	19220	2231 × 955 × 1265	242
081C/17	7	161,4	18860	2231 × 1055 × 1265	272
051C/110	10	36,7	5950	1396 × 690 × 665	76
051D/110	10	48,9	5760	1396 × 790 × 665	92
066C/110	10	65,2	9870	1831 × 785 × 965	158
066D/110	10	86,9	9430	1831 × 985 × 965	193
071C/110	10	85,6	13880	2046 × 865 × 1065	194
071D/110	10	114,1	13230	2046 × 1065 × 1065	240
081C/110	10	116,2	19220	2231 × 1055 × 1265	271
081D/110	10	155,0	18450	2231 × 1055 × 1265	308
051C/112	12	31,1	6030	1396 × 690 × 665	73
051D/112	12	41,5	5870	1396 × 790 × 665	87
066C/112	12	55,4	10090	1831 × 785 × 965	151
066D/112	12	73,8	9690	1831 × 985 × 965	186
071D/112	12	96,9	13610	2046 × 1065 × 1065	231
081C/112	12	98,7	19580	2231 × 1055 × 1265	262
081D/112	12	131,6	18900	2231 × 1055 × 1265	296

Приложение 9. Фреоновые компрессорно-конденсаторные агрегаты

Холодопроизводительность фреоновых агрегатов R 404a, кВт

Марка	Температура окружающего воздуха, °С	Температура кипения, °С				
		-20	-25	-30	-35	-40
B8-KM-5X	27	1,5	1,2	1,0	0,7	0,5
	32	1,4	1,1	0,9	0,6	0,5
	38	1,2	1,0	0,7	0,5	0,4
	43	1,1	0,8	0,6	0,5	0,3
B8-KM-7X	27	1,5	1,2	1,0	0,7	0,5
	32	1,4	1,1	0,9	0,6	0,5
	38	1,2	1,0	0,7	0,5	0,4
	43	1,1	0,8	0,6	0,5	0,3
B8-KJ-7X	27	1,8	1,5	1,2	1,0	0,7
	32	1,7	1,4	1,1	0,8	0,6
	38	1,5	1,2	1,0	0,7	0,5
	43	1,3	1,1	1,8	0,6	0,5
B8-KJ-10X	27	1,9	1,6	1,3	1,0	0,7
	32	1,7	1,4	1,1	0,9	0,6
	38	1,5	1,3	1,0	0,8	0,5
	43	1,4	1,1	0,9	0,7	0,5
B8-KSJ-10X	27	2,3	1,9	1,6	1,2	1,0
	32	2,1	1,8	1,4	1,1	0,8
	38	—	1,6	1,2	1,0	0,7
	43	—	1,4	1,1	0,8	0,6
D8-KSJ-15X	27	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0
	32	2,3	1,9	1,5	1,2	0,9
	38	2,0	1,7	1,3	1,0	0,7
	43	1,8	1,5	1,2	0,9	0,6
B8-KL-15X	27	2,6	2,2	1,8	1,4	1,1
	32	2,4	2,0	1,6	1,3	1,0
	38	—	1,8	1,4	1,1	0,8
	43	—	1,6	1,3	1,0	0,7
D8-KSL-15X	27	3,2	2,6	2,0	1,5	1,0
	32	3,0	2,4	1,8	1,3	0,8
	38	2,6	2,0	1,5	1,0	—
	43	2,2	1,7	1,2	0,8	—
H8-LE-20X	27	3,6	2,9	2,2	1,6	1,1
	32	3,2	2,6	1,9	1,4	0,9
	38	2,8	2,2	1,6	1,1	0,6
	43	2,5	1,9	1,4	0,9	—
D8-LF-20X	27	3,9	3,2	2,6	2,0	1,4
	32	3,5	2,9	2,3	1,7	1,2
	38	3,1	2,5	1,9	1,4	0,9
	43	2,7	2,2	1,7	1,2	—
H8-LF-30X	27	4,7	3,7	2,9	2,1	1,5
	32	4,2	3,4	2,6	1,9	1,2
	38	3,7	2,9	2,2	1,5	—
	43	3,3	2,5	1,9	1,3	—
P8-LF-30X	27	5,0	4,0	3,0	2,2	1,5
	32	4,5	3,6	2,7	1,9	1,8
	38	4,0	3,1	2,3	1,6	1,0
	43	3,5	2,7	2,0	1,3	—
H8-LJ-20X	27	5,2	4,2	3,3	2,5	1,8
	32	—	3,8	3,0	2,2	1,5
	38	—	3,3	2,5	1,8	1,1
	43	—	2,9	2,1	1,5	—
H8-LJ-30X	27	5,2	4,3	3,4	2,7	2,0
	32	4,7	3,8	3,0	2,3	1,7
	38	4,1	3,3	2,6	2,0	1,3
	43	3,6	2,9	2,2	1,6	1,0
P8-LJ-30X	27	5,6	4,6	3,6	2,8	2,0
	32	5,1	4,1	3,2	2,5	1,8
	38	4,5	3,6	2,8	2,0	1,4
	43	3,9	3,1	2,4	1,7	1,1
H8-LL-30X	27	6,4	5,2	4,2	3,2	2,3
	32	5,8	4,7	3,7	2,8	2,0
	38	5,1	4,1	3,2	2,4	1,6
	43	4,5	3,6	2,8	2,0	1,3
H8-LL-40X	27	6,5	5,3	4,2	3,2	2,3
	32	5,9	4,8	3,8	2,8	2,0
	38	5,1	4,2	3,2	2,4	1,6
	43	4,6	3,7	2,8	2,0	—
P8-LL-40X	27	7,1	5,8	4,5	3,4	2,5
	32	6,5	5,2	4,0	3,0	2,1
	38	5,7	4,5	3,5	2,5	1,7
	43	5,0	4,0	3,0	2,1	—
H9-LSG-40X	27	7,8	6,5	5,2	4,1	3,0
	32	7,1	5,8	4,7	3,6	2,7
	38	6,2	5,1	4,0	3,0	2,2
	43	—	4,5	3,5	2,7	1,9
P8-LHA-50X	27	9,5	7,9	6,5	5,2	4,0
	32	8,7	7,2	5,9	4,7	3,6
	38	7,7	6,4	5,2	4,1	3,1
	43	—	5,7	4,6	3,6	—

