

УДК 633.14.033.2.001.5

# **ВЫБОР МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ДРОЖЖЕРАСТИЛЬНОГО АППАРАТА**

**В. Ф. НИКОЛАЕНКО, В. Г. ФЕДОРОВ,  
А. П. ЛАДАНЮК**

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Анализ теплового баланса дрожжерастильного аппарата показывает, что на температуру внутри аппарата существенно влияет аэрационный воздух. При культивировании дрожжей в аппарат может подаваться до 10 тыс. м<sup>3</sup> воздуха в час. Воздух на аэрацию забирается с улицы, температура и влажность его меняются в течение суток и по сезонам, а следовательно, меняется и тепловой режим в аппарате. Исследователи по-разному оценивают это влияние.

В связи с этим возникает необходимость экспериментально проверить правомочность использования различных методик расчета теплового баланса аппарата и выбрать обеспечивающую наибольшую сходимость расчетных и экспериментальных данных.

Рассмотрим процесс подготовки воздуха и аэрации культуральной среды в дрожжерастильном аппарате.

Поступающий на аэрацию воздух сжимается воздуходувкой (например, типа ТВ 801.4) до дав-

ления 0,14 МПа, температура его при этом повышается, процесс сжатия можно считать адиабатическим. Далее воздух подается в дрожжерастильный аппарат. Проходя через аэрационную систему, воздух дробится на мелкие пузырьки. Поверхность тепломассообмена между ним и жидкостью при этом настолько увеличивается, что температура воздуха становится равной температуре культуральной жидкости<sup>1</sup>, а влажность на выходе, как показали наши измерения, достигает 100 %. Распределение температурного поля по объему аппарата равномерное. Таким образом, на входе в дрожжерастильный аппарат влагосодержание воздуха соответствует влагосодержанию на улице, температура — температуре после адиабатного сжатия воздуходувкой, давление 0,14 МПа для воздуходувок типа ТВ 801.4. На выходе из аппарата параметры воздуха следующие: температура равна температуре культуральной жидкости, влагосодержание — максимальное для данной температуры (влажность 100 %), давление — атмосферное.

Рассмотрим возможные варианты расчета влияния воздуха.

**Первый** — по изменению его теплосодержания. При этом начальным считается теплосодержание воздуха на улице, а конечным — на выходе из аппарата:

$$Q_1 = \Delta I_1 m_b = \rho G [1,005(t_2 - t_1) + 1,974(x_2 t_2 - x_1 t_1) + 2499(x_2 - x_1)],$$

где  $Q_1$  — количество тепла (далее  $Q_2 - Q_5$ ), кДж/ч;

$\Delta I_1$  — изменение теплосодержания воздуха, кДж/кг;

$m_b$  — масса воздуха, кг;

$\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$G$  — его расход, м<sup>3</sup>/ч;

$t_1, x_1$  — температура и влагосодержание воздуха на улице, °С, кг/м;

$t_2, x_2$  — то же, на выходе из аппарата, °С, кг/м.

**Второй** — аналогичный первому, только начальное теплосодержание определяется для воздуха на входе в аппарат (после воздуходувки):

$$Q_2 = m_b \Delta I_2 = \rho G [1,005(t_2 - t'_2) + 1,974(x_2 t_2 - x_1 t'_2) + 2499(x_2 - x_1)],$$

<sup>1</sup> Федосеев К. Г. Физические основы и аппаратура микробного синтеза биологически активных соединений. — М.: Медицина, 1977. — 298 с.

где  $t'_2$  — температура воздуха на входе в дрожжерастильный аппарат, °С.

**Третий** — повторение первого варианта с учетом изотермической работы, совершаемой сжатым воздухом:

$$Q_3 = Q_1 + Q_T = Q_1 + \rho_1 V_1 \ln \frac{p_2}{p_1},$$

где  $Q_T$  — работа, совершаемая аэрационным воздухом по изотермическому процессу, кДж/ч;

$\rho_1, p_2$  — давление воздуха на входе в аппарат и выходе из него, Па;

$V_1$  — объем воздуха, м<sup>3</sup>.

**Четвертый** — аналогичный второму варианту с расчетом изотермической работы  $Q_T$ , совершаемой сжатым воздухом:

$$Q_4 = Q_2 + Q_T.$$

**Пятый** — по разнице между адиабатической работы воздуходувки по сжатию воздуха и изменением теплосодержания воздуха (в соответствии с первым вариантом):

$$Q_5 = Q_{вд} - Q_1,$$

где  $Q_{вд}$  — работа воздуходувки (процесс сжатия принят адиабатным), кДж/ч.

При проведении опытов дрожжерастильный аппарат типа РЗ-ВДС заполняли водой, чтобы исключить влияние тепловыделения микроорганизмов на температуру внутри аппарата. Далее в течение часа подавался аэрационный воздух, охлаждающая рубашка была отключена и вода из нее слита. При этом регулярно регистрировались следующие параметры: расход воздуха, температура в аппарате, температура воздуха на входе в аппарат, температура воздуха в цехе, температура сухого и влажного термометра для воздуха на улице, температура сухого и влажного термометра для воздуха на выходе из аппарата. Расход воздуха фиксировался при помощи контура измерения расхода, состоящего из камерной диафрагмы, дифманометра ДМПК-100 и самописца ПВ4. Температура воздуха на входе в аппарат и в цехе определялась стеклянными термометрами, температура в аппарате — термометром сопротивления ТСП и мостом КСМ2, а влажность — аспирационным психрометром. Результаты опытов приведены в таблице. Из нее видно, что аэрационный воздух отдал воде в дрожжерастильном аппарате некоторое количество тепла  $Q_b = 304\,927$  кДж.

Расход воздуха (замеры через 5 мин), м <sup>3</sup> /ч	Температура, °С						Примечание	
	в аппарате	в цехе	воздуха на входе в аппарат	на улице	воздуха на выходе из аппарата, °С	мокрого термометра		
						на улице		на выходе из аппарата
5800	12							Набор воды 35,5 м <sup>3</sup>
5800	12,2							
5800	12,2							Включена вторая воздуходувка
5800	12,5	16,5	44,5					
5900	12,8							
6200	13							
5800	13,2	16,5	45	14,8		14,1		
5800	13,3							
6000	13,6				13		13	
5900	13,7	16,5	48					
6000	13,9							

Расчетное количество тепла в рассмотренных вариантах составило:  $Q_1 = 35830$  кДж,  $Q_2 = 269715$ ,  $Q_3 = 242595$ ,  $Q_4 = 476481$ ,  $Q_5 = 127896$  кДж.

Влияние окружающей среды на температуру воды в аппарате определялось по методике Каммерера:  $Q_{\text{пот}} = 8038$  кДж.

Таким образом, установлено, что наилучшая сходимость расчетных и экспериментальных данных во второй методике расчета (относительная погрешность 11,5%). Ее и надо использовать при расчете теплового баланса дрожжеvastiльных аппаратов.