
ТЕХНОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Известия ТСХА, выпуск 1, 2015 год

УДК 577.154.32:664.66

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

А.А. ШЕВЦОВ¹, В.И. КОТАРЕВ², И.В. МАЖУЛИНА², Т.Н. ТЕРТЫЧНАЯ²

(¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий;

² Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I)

*Разработан способ управления биотехнологией получения ферментных препаратов на базе парокомпрессионного теплового насоса, направленный на повышение энергетической эффективности и экологической безопасности процессов ферментации и вакуум-сублимационной сушки. Для исследований выбран продуцент инулиназы *Vacillus rotuxha* 29, выращенный глубинным способом.*

Расчетным путем обосновывается энергетическая эффективность запатентованной технологии производства порошкообразных ферментного препарата с применением парокомпрессионного теплового насоса, который расширяет границы энергоэффективного сопряжения объектов различных температурных потенциалов на основе утилизации и рекуперации вторичных энергоресурсов. При этом в полной мере реализован универсальный подход в создании конкурентоспособной теплонасосной технологии, обеспечивающей выработку тепла и холода для совместно протекающих процессов ферментации, ультрафильтрации и вакуум-сублимационной сушки.

Для оценки энергоэффективности рассматриваемой биотехнологии был выполнен ее эксергетический анализ, основанный на методике Бродянского, в соответствии с моделью окружающей среды Шаргута. При этом технология разбивается на шесть контрольных поверхностей, причем эксергия рассчитывается по каждому входящему и выходящему потоку. Для наглядности приводится диаграмма Грассмана-Шаргута. Расчет эксергетического КПД и сравнение его с аналогичными показателями известных ранее технологий подтверждает энергетическую эффективность предлагаемой технологии.

Ключевые слова: биотехнология, ферментные препараты, эксергия, эксергетический анализ, ферментер, ультрафильтрационная установка, сублимационная сушилка.

Недостаточное изучение общих закономерностей совместно протекающих процессов культивирования, ультрафильтрации и вакуум-сублимационной сушки ферментных препаратов сдерживает разработку и использование новых, перспективных технологий, позволяющих интенсифицировать все ее стадии с рациональным использованием энергетического потенциала и обеспечением высокого качества получаемого продукта.

Существующие в настоящее время способы производства ферментных препаратов зачастую не используют вторичные энергоресурсы, что не позволяет существенно повысить экономичность протекающих процессов. Поэтому разработка и использование универсальных подходов для анализа и поиска решений по повышению эффективности способов производства ферментных препаратов является актуальной задачей.

Для исследований выбран продуцент инулиназы *Bacillus polymyxa* 29, выращенный глубинным способом. Для получения высокоактивного ферментного препарата инулиназы использовали ультрафильтрацию и сублимационную сушку.

Оценка термодинамического совершенства теплотехнологических систем в настоящее время осуществляется большей частью посредством энергетического анализа. Однако с его помощью оценивают, как правило, тепловые процессы. Поэтому все большее значение приобретает эксергетический анализ, позволяющий учесть также энергию химических связей и механическую составляющую, связанную, в первую очередь, с градиентом давления в различных участках рассматриваемой системы.

Оценка термодинамического совершенства культивирования аэробных микроорганизмов является сравнительно недостаточно изученным вопросом [5, 7]. Это объясняется малой долей традиционной для эксергетических расчетов термической составляющей. В первую очередь в системах культивирования микроорганизмов присутствует химическая составляющая эксергии, увеличение которой обусловлено приростом биомассы, сопровождающейся ассимиляцией неорганических и низкомолекулярных органических веществ в высокоэнергетические органические соединения (белки, углеводы, вещества липидной природы, в меньшей степени — витамины, гормоны, ферменты и др.). Однако в связи с увеличением требований к энергосбережению в промышленности перспективным направлением в прикладных исследованиях становится поиск способов сокращения энергозатрат за счет более эффективного использования энергии и пластического материала.

При внедрении новых биотехнологий требуется проведение термодинамической оценки технологии, представляющей собой соотношение полезной и затраченной эксергии. Эксергия материального потока — это максимальное количество полезной работы, которое может быть получено при достижении им состояния равновесия с окружающей средой.

Методика исследований

Для оценки энергоэффективности рассматриваемой биотехнологии (рис. 1) был выполнен ее эксергетический анализ, основанный на методике Бродянского [2, 3], в соответствии с моделью окружающей среды Шаргута [10].

Результаты и их обсуждение

Эксергия — максимально полезная работа, получаемая при переходе вещества в состояние равновесия с окружающей средой в результате обратимых процессов. Полная эксергия потока вещества выражается уравнением:

$$\sum E_s = \sum E_s + \sum D, \quad (1)$$

где $\sum E_s$ — суммарная эксергия вводимых в контрольную поверхность материальных и энергетических потоков; $\sum E_s$ — суммарная эксергия выводимых

из контрольной поверхности полезных материальных и энергетических потоков;
 $\sum D = T_0 \cdot \Delta S$ — суммарные эксергетические потери, обусловленные диссипацией энергии при взаимодействии потока с окружающей средой.

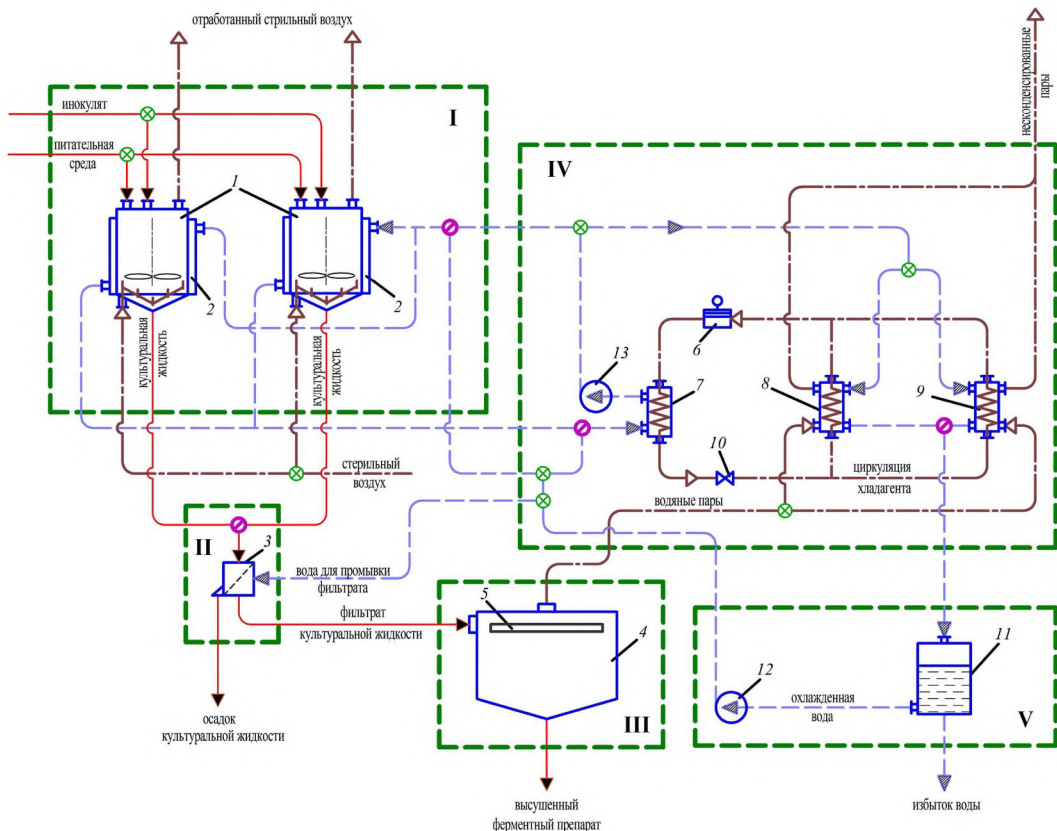


Рис. 1. Технологическая схема предлагаемой биотехнологии: 1 — ферментеры; 2 — обогревающая рубашка; 3 — ультрафильтрационная установка; 4 — сублимационная сушилка; 5 — нагреватель; холодильная машина; 6 — компрессор; 7 — конденсатор; 8, 9 — рабочая и резервная секции испарителя; 10 — терморегулирующий вентиль; 11 — водяной сборник; 12, 13 — насосы. Обозначения: \rightarrow — продукт; \dashrightarrow — вода; \dashrightarrow — газы; $---$ — границы контрольных поверхностей; \otimes — разделение потоков; \oplus — объединение потоков

Соотношение (1) для рассматриваемой системы [8, 11, 13] имеет вид:

$$E_1^n + E_2^n + E_3^n + \sum E_9^n = E_1^k + E_2^k + E_3^k + E_4^k + \sum D_i + \sum D_e, \quad (2)$$

где слагаемые этих уравнений — эксергия (кДж): инокулята микроорганизма E_1^n ; питательной среды E_2^n ; стерильного воздуха E_3^n суммарной электроэнергии приводов

оборудования $\sum E_9^h$; отработанного воздуха E_1^k ; осадка, идущего на кормовые цели E_2^k ; высушенного ферментного препарата E_3^k ; избытка воды E_4^k ; суммы внутренних потерь $\sum D_i$; суммы внешних потерь $\sum D_e$.

Уравнение (2) отражает изменение эксергии биотехнологической системы за счет ввода посевного материала, питательной среды, стерильного воздуха, подвода электроэнергии к оборудованию; необратимых изменений структурно-механических свойств сырья, продуктов и вспомогательных потоков, сопряженных с затратами электроэнергии на приводы рабочих органов насосов, вентиляторов, мешалок и ТЭНов; покрытия потерь, возникающих вследствие необратимости физико-химических и биохимических процессов, протекающих при культивировании; компенсации потерь, обусловленных действием окружающей среды. В расчетах учитывались механическая, термическая и химическая составляющие эксергии.

Механическая эксергия потоков газообразных веществ представляет собой расширение от текущего давления до давления окружающей среды:

$$e_p = \frac{R}{M} T_0 \cdot \ln \left(\frac{P}{P_0} \right), \quad (3)$$

где R — универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); M — молярная масса газа, кг/моль; T — температура окружающей среды, К; P, P_0 — давление газа в рассматриваемом потоке и в состоянии равновесия с окружающей средой, кПа.

При этом механическая составляющая эксергии суспензии, находящейся под давлением в трубопроводах, вычислялась пересчетом давления, создаваемого рециркуляционным насосом, с учетом расхода суспензии.

Термической составляющей эксергии обладают потоки, имеющие температуру выше принятой для окружающей среды (293,13 К). Удельную термическую эксергию вычисляют по уравнению Гюи-Столллы:

$$e_t = e - e_0 = h - h_0 - T_0(S - S_0), \quad (4)$$

где e, e_0, h, h_0, S, S_0 — удельная термическая эксергия, кДж/кг; удельная энтальпия, кДж/кг; и энтропия, кДж/(кг·К), продукта при текущих параметрах технологического процесса и в состоянии равновесия с окружающей средой.

Эксергию воздуха, участвующего в процессе сушки, рассматривали как бинарную смесь, состоящую из 1 кг воздуха и X кг водяных паров:

$$e_b = \bar{c}_b \cdot (T - T_0) - \left(T_0 \cdot \bar{c}_b \cdot \ln \frac{T}{T_0} - R_b \cdot \ln \frac{p - \varphi \cdot p_s(T)}{p_0 - \varphi_0 \cdot p_s(T_0)} + X \cdot (h_n - h_n^0 - T_0 \cdot (S_n - S_n^0)) \right), \quad (5)$$

где \bar{c}_b — средняя удельная изобарная теплоемкость влажного воздуха между его текущим состоянием в потоке и состоянием равновесия с окружающей средой, кДж/(кг·К); p, p_0 и φ, φ_0 — полное давление, Па, и относительная влажность воздуха, %, в потоке и в окружающей среде; $p_s(T), p_s(T_0)$ — давление насыщенного водяного пара при температуре потока и окружающей среды, Па; h_n, h_n^0 и S_n, S_n^0 — энтальпия и энтропия водяного пара при параметрах потока и окружающей среды, кДж/кг и кДж/(кг·К).

Молярная химическая эксергия вещества вычислялась по формуле:

$$\varepsilon_{\mu} = \Delta G^0 + \sum A_i \cdot \varepsilon_i, \quad (6)$$

где ΔG^0 — энергия Гиббса образования вещества; A_i — коэффициенты в уравнении реакции; ε_i — молярная эксергия исходных веществ, кДж/моль.

Механической эксергией характеризовались потоки стерильного воздуха и пара. Химическая эксергия в заметных количествах присутствовала у посевного материала и питательной среды. Химическая эксергия суспензии вычислялась исходя из химического состава содержащихся в ней макромолекул (белков, углеводов), а также липидов. Термическая эксергия в рассматриваемой биотехнологии не играет главной роли, в основном она растет за счет приводов оборудования, а продукт получал ее максимальное приращение при сушке.

Для проведения эксергетического анализа рассматриваемая биотехнологическая система была условно отделена от окружающей среды замкнутой поверхностью и разделена на ряд контрольных поверхностей (табл. 1).

Культивирование в ферментере производилось в периодическом режиме, а остальные процессы (в первую очередь сушка) — в непрерывном. Поэтому для приведения параметров культивирования к условиям непрерывного потока был составлен цикл их работы, который затем был пересчитан на часовую эквивалентную производительность с учетом емкости ферментационного оборудования [12, 15].

Производственный цикл ферментера состоял из следующих этапов:

- стерилизация внутренней полости — 30 мин.;
- загрузка питательной среды — 10 мин.;
- охлаждение внутренней полости — 40 мин.;
- засев инокулята микроорганизма — 5 мин.;
- выращивание посевной культуры — 10 ч.

Для выделения целевого продукта из культуральной жидкости ее подвергли фильтрации с удалением осадка биомассы и подачей фильтрата в вакуум-сублимационную сушилку с характеристиками:

Температура самозамораживания фермента, °С,	-17 ± 0,5
Остаточного давления в вакуум-сублимационной камере, Па,	66–67
Температура отводящихся из сублимационной камеры в испаритель водяных паров, °С,	-8 ± 0,5
Расход водяных паров, кг/ч,	2,4 ± 0,05
Влажность препарата на выходе из сушилки, %,	1,5 ± 0,5
Температура препарата на выходе из сушилки, °С,	22 ± 0,5
Активность инулиназы, ед/г,	1315–1325

Т а б л и ц а 1

Разделение рассматриваемой системы на контрольные поверхности

№ п/п	Наименование контрольной поверхности
I	Ферментер
II	Фильтр
III	Ультрафильтрационная установка
IV	Сублимационная сушилка
V	ПКХМ
VI	Водосборник

Способ осуществляли при следующих параметрах:

Давление стерильного воздуха при подаче в ферментер, Мпа,	0,02–0,03
Частота вращения мешалки, с ⁻¹ ,	3,5–3,6
pH жидкой фазы	7,0
Температура культивирования, °С,	34 ± 0,5
Влажность концентрата культуральной жидкости после ультра- фильтрации к общей массе продукта, %,	67 ± 2,0
Активность инулиназы, ед/см ³ ,	100 ± 3
Активность β-фруктофуранозидазы, ед/см ³ ,	6,5 ± 5

Схема обмена предлагаемой биотехнологической системы тепловыми и энергетическими потоками с окружающей средой, а также между контрольными поверхностями представлена на рисунке 2.

Теплофизические свойства веществ, образующих материальные потоки, а также данные для вычисления химической эксергии взяты из справочной литературы [1, 4, 6, 14].

В процессе расчетов учтено влияние на систему внутренних D^i и внешних D^e эксергетических потерь. В суммарное количество внутренних эксергетических потерь входят потери от конечной разности температур в результате рекуперативного теплообмена между суспензией и охлаждающим воздухом, электромеханические, возникающие при необратимом изменении свойств продукта, и гидравлические потери, обусловленные внезапным увеличением удельного объема воздуха и пара, а также внезапным снижением напора суспензии микроорганизма при поступлении во внутреннюю полость оборудования.

Потери, обусловленные конечной разностью температур между потоками, определяли по формуле:

$$D^{mo} = Q^{mo} \cdot \bar{\tau}_e, \quad (7)$$

где Q^{mo} — количество теплоты, переданное от одного потока к другому; кДж; $\bar{\tau}_e$ — среднее значение фактора Карно для двух взаимодействующих потоков.

Фактор Карно, или эксергетическая температурная функция [7], равна термическому КПД цикла Карно между температурами контрольной поверхности и условно принятой окружающей среды:

$$\tau_e = (T_{kn} - T_0) / T_{kn}, \quad (8)$$

где T_{kn} — температура теплоносителя внутри контрольной поверхности, К.

Эксергетические потери вследствие падения давления газов при их подаче в контрольную поверхность определяли по формуле:

$$D^e = g \cdot \Delta H_z \cdot \frac{T_{kn}}{T_{ex}}, \quad (9)$$

где T_{ex} — температура, К, теплоносителя на входе в контрольную поверхность; ΔH_z — гидравлические потери, м.

По формуле Дарси-Вейсбаха [9] найдены гидравлические потери при входе газов в контрольную поверхность:

$$\Delta H_z = \xi \cdot \frac{v_{ex}^2}{2g}, \quad (10)$$

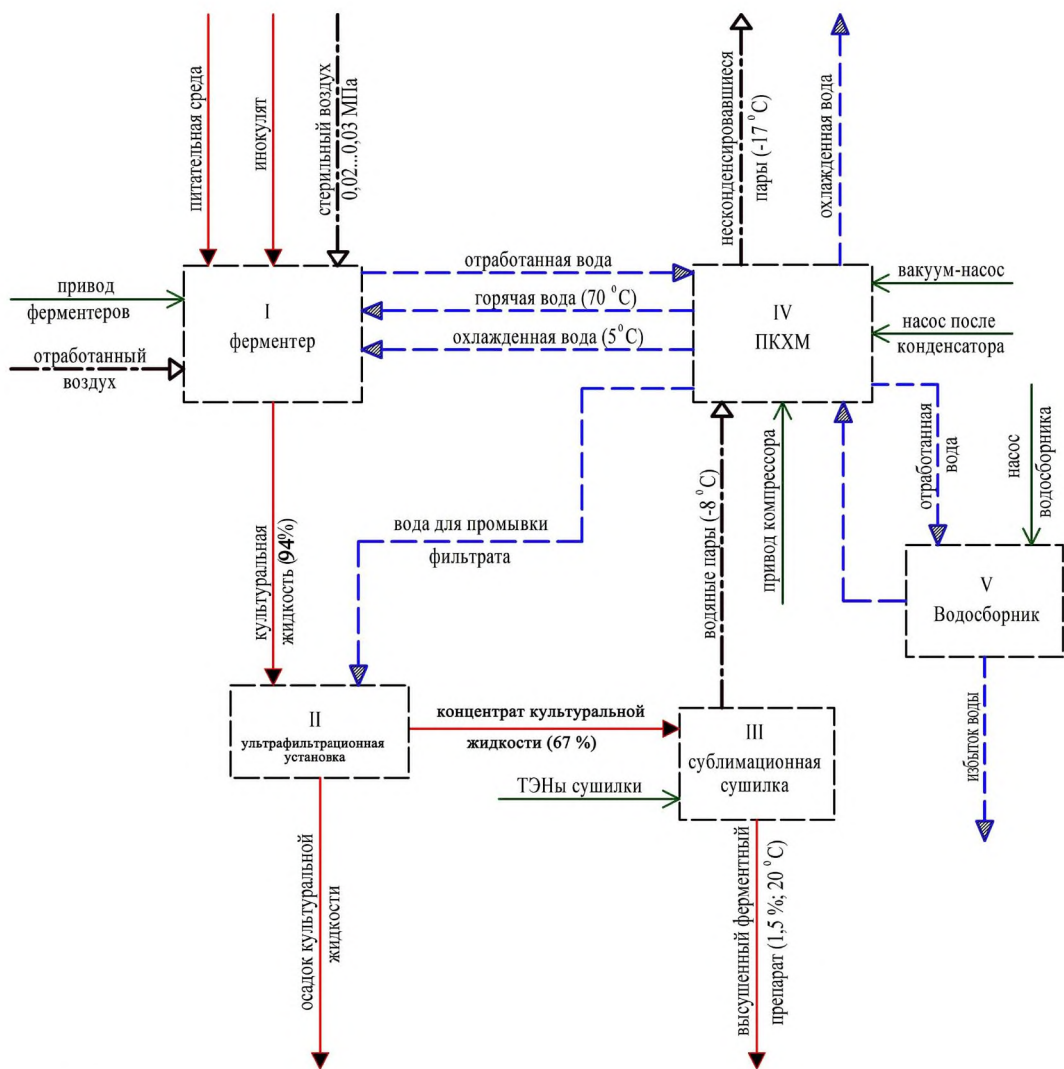


Рис. 2. Схема обмена потоками между контрольными поверхностями предлагаемой рассматриваемой биотехнологической системы: —▶— продукт; —▶— вода; —▶— газы; —▶— электроэнергия; — — — границы контрольных поверхностей

где v_{ex} — средняя скорость прохождения газа по сечению подводящего трубопровода, м/с; ξ — коэффициент сопротивления, определяемый отношением внутреннего объема оборудования, рассматриваемого в качестве контрольной поверхности, к поперечному сечению входного отверстия.

Электромеханические потери эксергии тождественны разности мощности приводов оборудования и приращения механической эксергии потока, перемещаемого данным оборудованием.

Внешние потери D^e связаны с условиями сопряжения системы с окружающей средой. Эти потери обусловлены отличием определяющих потенциалов (тем-

пературы, давления, химического потенциала) внутри рассматриваемой системы от равновесных с окружающей средой значений.

Потери эксергии в окружающую среду, обусловленные несовершенством теплоизоляции, были найдены по формуле:

$$D^e = Q_{из} \cdot \tau_e, \quad (11)$$

где $Q_{из}$ — суммарные потери тепла в окружающую среду через контрольную поверхность, кДж; τ_e — фактор Карно.

Оценку термодинамического совершенства системы культивирования проводили по эксергетическому КПД, исходя из значения эксергии высушенного ферментного препарата и осадка, состоящего из клеточной биомассы микроорганизм и являющегося кормовым продуктом:

$$\eta_{экс} = \frac{\sum_{k=1}^l E_k^э}{\sum_{i=1}^n E_i^э} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^э - \sum_{j=1}^m D_j}{\sum_{i=1}^n E_i^э}, \quad (12)$$

где $\sum_{k=1}^l e_k^э$ — суммарная удельная эксергия полезных потоков (готовой биомассы

и осадка), кДж/кг; $\sum_{i=1}^n e_i^э$ — суммарная затраченная удельная эксергия (подведенная

в систему извне), кДж/кг; $\sum_{j=1}^m D_j$ — суммарные эксергетические потери, кДж/кг.

Обозначение потоков на рисунке 3 представлено в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Обозначение потоков на диаграмме Грассмана-Шаргута

№ потока	Наименование потока
1	Посевной материал (инокулят)
2	Питательная среда
3	Стерильный воздух
4	Электроэнергия для привода мешалки
5	Посевная культура
6	Концентрат
7	Высушенный ферментный препарат
8	Осадок (на кормовые цели)
9	Вода для промывки фильтрата
10	ТЭНы сушилки
11	Отработанная вода (из инокулятора)
12	Охлажденная вода (из ПКХМ)

№ потока	Наименование потока
13	Охлажденная вода
14	Привод вакуум-насоса
15	Привод компрессора ПКХМ
16	Привод насоса (после конденсатора)
17	Привод насоса (водосборник)
18	Вода из ПКХМ

Эксергия материальных и энергетических потоков, а также внутренние и внешние эксергетические потери, рассчитанные по формулам (2–6), составили эксергетический баланс теплотехнологической системы культивирования аэробных микроорганизмов с последующей сушкой (табл. 3). При построении эксергетических диаграмм Грассмана-Шаргута (рис. 3) в качестве абсолютного эксергетического параметра выбрана удельная эксергия, кДж/ч.

Таблица 3

Эксергетический баланс предлагаемой биотехнологии

№ п/п	Наименование контрольной поверхности	Абсолютная удельная эксергия, кДж/кг	Относительная удельная эксергия, %
I	Ферментер		
<i>Приход</i>			
1	Посевной материал	1034,8	4,0
2	Питательная среда	2064,9	8,0
3	Стерильный воздух	2064,9	4,0
4	Электроэнергия для привода мешалки	4688,3	18,1
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		8829,8	34,1
<i>Расход</i>			
5	Внутренние эксергетические потери	4541,4	17,6
6	Внешние эксергетические потери	1809,0	7,0
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		6350,5	24,6
II	Фильтр		
<i>Приход</i>			
1	Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности	0,0	0,0

№ п/п	Наименование контрольной поверхности	Абсолютная удельная эксергия, кДж/кг	Относительная удельная эксергия, %
<i>Расход</i>			
2	Осадок — на кормовые цели	412,0	1,6
3	Внутренние эксергетические потери	899,8	3,5
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		1311,8	5,1
III	Сублимационная сушилка		
<i>Приход</i>			
1	ТЭНы сушилки	9386,0	36,3
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		9386,0	36,3
2	Высушенный ферментный препарат	7685,9	29,7
3	Внутренние эксергетические потери	2320,4	9,0
4	Внешние эксергетические потери	1136,5	4,4
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		11142,9	43,1
IV	Парокомпрессионная холодильная машина		
<i>Приход</i>			
1	Электроэнергия для привода компрессора	3826,4	14,8
2	Электроэнергия для привода насоса (после конденсатора)	715,1	2,8
3	Электроэнергия для привода вакуум-насоса	956,6	3,7
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		5498,0	21,3
<i>Расход</i>			
4	Внутренние эксергетические потери	4285,7	16,6
5	Внешние эксергетические потери	623,0	2,4
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		4908,7	19,0
V	Водосборник		
<i>Приход</i>			
1	Электроэнергия для привода насоса (после водосборника)	2150,0	8,3
Суммарная эксергия, подводимая к контрольной поверхности		2150,0	8,3

№ п/п	Наименование контрольной поверхности	Абсолютная удельная эксергия, кДж/кг	Относительная удельная эксергия, %
<i>Расход</i>			
2	Внутренние эксергетические потери	2150,0	8,3
Суммарная эксергия, отводимая от контрольной поверхности		2150,0	8,3
Общий подвод		25863,8	100,0
Общий отвод		25863,8	100,0
Эксергетический КПД		31,3	

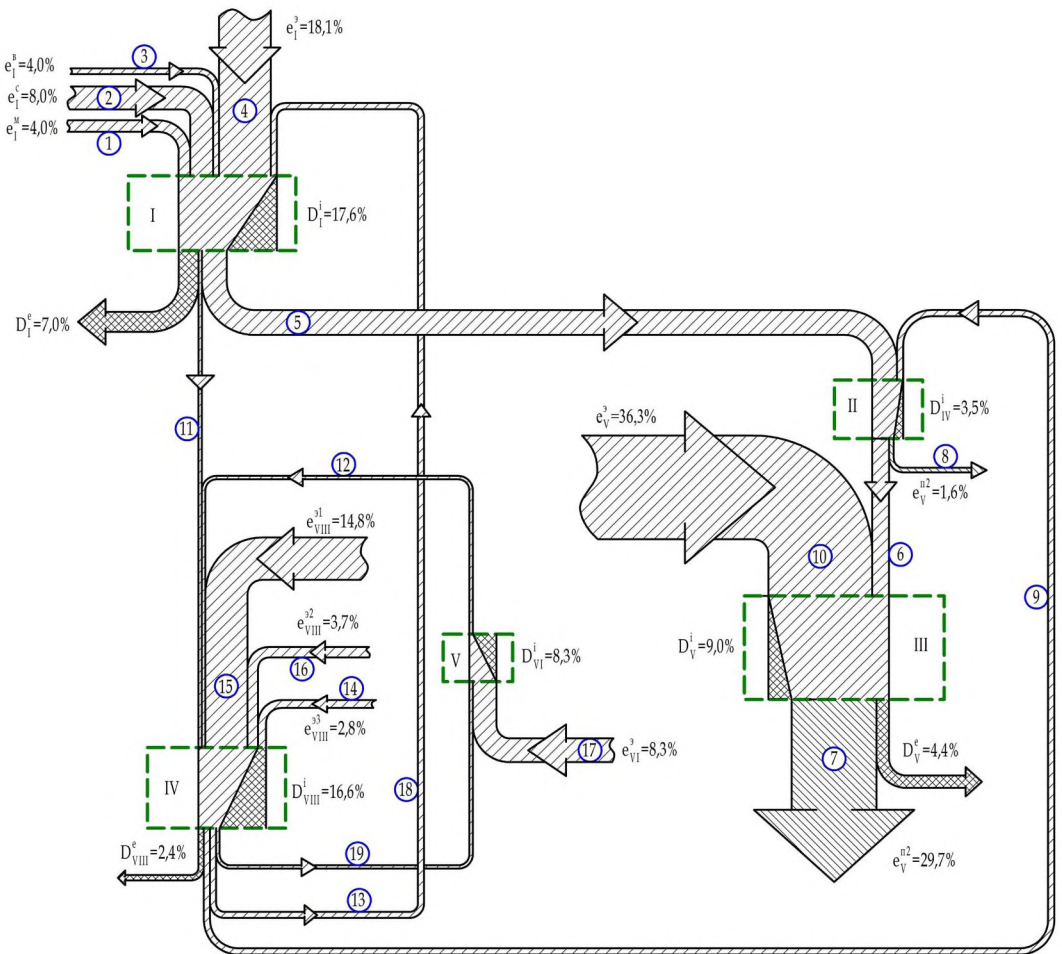


Рис. 3. Диаграмма Грассмана-Шаргута для рассматриваемой биотехнологической системы

Заключение

Расчет эксергетического КПД и сравнение его с аналогичными показателями известных ранее технологий подтверждают энергетическую эффективность предлагаемой биотехнологии получения ферментных препаратов. Полученный эксергетический КПД равен 31,3%. Это говорит о повышении степени термодинамического совершенства системы при использовании контуров рециркуляции и организации работы системы в замкнутом цикле.

Библиографический список

1. *Богословский С.В.* Физические свойства газов и жидкостей. СПб.: СПбГУАП, 2001. 73 с.
2. *Бродянский В.М., Верхивкер Г.П. и др.* Эксергетические расчеты технических систем. Киев: «Наукова Думка», 1991. 360 с.
3. *Бродянский В., Фратшер В., Михалец К.* Эксергетический метод и его приложения. М.: Энергоатомиздат, 1988. 286 с.
4. *Варгафтик Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.
5. *Войнов Н.А., Сугак Е.В., Николаев Н.А., Воронин С.М.* Пленочные биореакторы. Красноярск: БОРГЕС, 2001. 252 с.
6. *Мрелиашивили Г.М.* Низкотемпературная калориметрия биологических макромолекул // Успехи физических наук. 1979. Т. 128. Вып. 2. С. 273–312.
7. *Озаренко О.А.* Моделирование процессов периодического культивирования микроорганизмов: Дис. ...канд. биол. наук: 03.00.23. Щелково, 2004. 111 с.
8. Патент № 2480520. МПК⁷ С 12М 1/02, С12М 1/36, F26В 5/06. Способ управления процессами получения и сушки ферментных препаратов / А.А. Шевцов, Т.Н. Тертычная, И.В. Мажулина; заявл. 03.10.2011; опублик. 27.04.2013. Бюл. № 12.
9. Процессы и аппараты пищевых производств. Кн. 1 / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовицкий, А.А. Шевцов и др.: Под ред. А.Н. Острикова. СПб.: ГИОРД, 2007. 704 с.
10. *Шаргут Я., Петела Р.* Эксергия. М.: Энергия, 1968. 284 с.
11. *Шевцов А.А., Золотарев Ю.Н., Мажулина И.В.* Математическая модель десублимации при вакуум-сублимационной сушке // Известия вузов. Пищевая технология. 2013. № 4. С. 93–95.
12. *Шевцов А.А., Ключников А.И., Тертычная Т.Н., Мажулина И.В.* Энергоэффективная технология получения ферментного препарата инулиназы и его применение в производстве хлебобулочных изделий: Монография / Воронеж: Воронеж. гос. ун-т. инж. технол., 2014. 204 с.
13. *Шевцов А.А., Мажулина И.В.* Управление энергоэффективной технологией получения ферментных препаратов на базе парокompрессионного теплового насоса // Автоматизация и современные технологии. 2013. № 7. С. 9–14.
14. *Янговский Е.И.* Потoki энергии и эксергии. М.: Наука, 1988. 144 с.
15. *Zherebtsov N.A., Korneeva O.S., Tertychnaya T.N.* On the mechanism of splitting of β -2,1-fruktoside bonds of inulin by inulase *Aspergillus awamori* 2250 // Biochemistry (Moscow). 1995. Т. 60. № 10. P. 1205–1211.

EXERGY ANALYSIS OF POWER EFFICIENT BIOTECHNOLOGY OF POWDERY ENZYME PREPARATIONS

A.A. SHEVTSOV¹, V.I. KOTAREV², I.V. MAZHULINA², T.N. TERTYCHNAYA²

(¹ Voronezh State University of Engineering Technologies;

² Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter the Great)

*The way of biotechnology management for obtaining enzyme preparations on the basis of the vapor-compression heat pump focused on power efficiency increase and ecological safety of fermentation processes as well as vacuum and sublimation drying has been developed. At the moment existing ways of enzyme preparations production don't use secondary energy sources; this fact doesn't allow significant increase in profitability of the proceeding processes. For this reason the development and use of universal approaches to analysis and search of decisions on increase of efficiency of fermental preparations production ways is an actual task. In a heat pump the warmth of environment as a result of mechanical energy expense in the compressor moves from low-temperature potential to higher temperature level. Thus, specific expenses of energy considerably decrease due to the use of warmth released by condensation of coolant during preparation of energy carriers in technology of enzyme preparations which is considered as thermodynamic system in common proceeding processes of deep cultivation, ultrafiltration and vacuum and sublimation drying. For the research the producer of inulinaza — *Bacillus polymyxa* 29 — was chosen which had been grown by deep inoculation.*

The energy efficiency of the patented production technology of powdery enzyme preparations with the use of vapor-compression heat pump was determined by calculation, this pump expands borders of energy-saving interface of objects with different temperature potentials on the basis of utilization and recovery of secondary energy resources. This universal approach to the creation of a competitive heat pump technology is fully realized, it ensures producing of heat and cold for proceeding fermentation processes, ultrafiltration and vacuum and sublimation drying occurring simultaneously.

For the assessment of energy efficiency of the considered biotechnology the exergy analysis was performed based on Brodyansky's technique according to the model of environment proposed by Shargut. The whole technology breaks into six control surfaces provided that exergy is calculated for each incoming and outgoing energy flow. Grassmann-Schargut chart is given for visual demonstrative purposes. Calculation of exergy coefficient of efficiency and its comparison with similar indicators of existing technologies confirms power efficiency of the suggested technology.

Key words: biotechnology, enzyme preparations, exergy, exergy analysis, fermenter, ultrafiltration device, sublimation drier.

Шевцов Александр Анатольевич — д. т. н., проф. кафедры технологий хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Воронежского государственного университета инженерных технологий (394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19; тел.: (920) 213-11-36; e-mail: shevalol@rambler.ru).

Котарев Вячеслав Иванович — ректор Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I, д. с.-х. н., проф. кафедры товароведения и экспертизы товаров (394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1).

Мажулина Инна Вячеславовна — асс. кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1; тел.: (951) 870-98-35; e-mail: inna210590@yandex.ru).

Тертычная Татьяна Николаевна — д. с.-х. н., проф. кафедры технологии переработки растениеводческой продукции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1; тел.: (4732) 53-87-97, (908) 139-51-73; e-mail: tertychnaya777@yandex.ru).

Shevtsov Alexander Anatolievich — Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Production Technologies of Baking, Confectionery, Macaroni and Grain Processing, Voronezh State University of Engineering Technologies (394036, Voronezh, Revolutsii avenue, 19; tel.: +7 (920) 213-11-36; e-mail: shevalol@rambler).

Kotarev Vyacheslav Ivanovich — Doctor of Agricultural Sciences, Rector of Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter the Great, Professor of the Department of Merchandizing and Examination of Goods (394087, Voronezh, Michurinastreety, 1).

Mazhulina Inna Vyacheslavovna — Assistant of the Department of Operations and Devices for food processing industries, Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter the Great (394087, Voronezh, Michurinastreety, 1; tel.: +7 (951) 870-98-35; e-mail: inna210590@yandex.ru).

Tertychnaya Tatyana Nikolaevna — Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of the Technology of Crop Production Processing, Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter the Great (394087, Voronezh, Michurinastreety, 1; tel.: +7 (4732) 53-87-97, +7 (908) 139-51-73; e-mail: tertychnaya777@yandex.ru).