

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI  
FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.  
ILMIY  
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi  
Yilda 6 marta chiqadi

5-2024

**НАУЧНЫЙ  
ВЕСТНИК.  
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года  
Выходит 6 раз в год

## FIZIKA– TEXNIKA

<b>G'.R.Rahmatov</b> Sabzavotlarni quritishda birlamchi ishlov berishdagi qurish kattaliklari tahlili.....	5
<b>M.B.Nabiyev, O.V.Tillaboyeva, D.D.G'ulomjonova</b> Yarimo'tkazgichli termoelektrik sovutgich (muzlat gich)lar asosidagi qurilmalarning qo'llanilishini o'rganish va uning tadbiri.....	10
<b>M.Kholdorov</b> Study of infrared light drying processes of fruits and vegetables .....	16

## KIMYO

<b>Q.M.Norboyev, X.Sh.Tashpulatov, A.M.Nasimov, D.T.Toshpulatov, Sh.N.Magdiyev, J.M.Xursandov, D.O.Sadikov</b> Xona haroratida ligandlar yordamida qayta cho'ktirish usulida CsPbBr <sub>3</sub> tarkibli perovskit kvant nuqtalar sintezi va spektral tahlili .....	20
<b>M.O.Rasulova, A.A.Ibragimov, T.Sh.Amirova</b> Oshlangan hayvon terilari tarkibidagi makro va mikroelementlar tahlili .....	26
<b>I.R.Asqarov, Sh.Sh.Abdullayev, S.A.Mamatqulova, O.Sh.Abdulloyev, Sh.X.Abdulloyev</b> Development of a methodology for determining the amount of water-soluble vitamins using the YSSX method (case study of Jujube).....	32
<b>A.A.Toshov, S.R.Razzoqova, I.Karimov, J.Jo'rayev, Sh.A.Kadirova, Sh.Sh.Turg'unboyev, Y.Ro'zimov</b> Синтез, строение и физико-химические свойства комплекса 2-метилтиобензоксазола с кобальтом .....	39
<b>S.X.Botirov, D.A.Eshkursunov, A.Inxonova D.J.Bekchanov M.G.Muxamediyev</b> AN-31 Anionitiga bixramat ionlarining sorbsiyasini eritma <i>ph</i> muhitiga bog'liqligini tadqiq qilish .....	48
<b>M.A.Yusupov, Sh.E.Satimova, I.R.Asqarov, M.M.Mo'minov</b> Determination of polyphenols and vitamins in artichoke ( <i>Cynara scolymus</i> L.) leaves .....	52
<b>S.X.Botirov, D.A.Eshkursunov, Y.S.Fayzullayev, D.J.Bekchanov, M.G.Muxamediyev</b> Sanoat anionitiga suniy eritmalardan Cr(VI) ionlarining sorbsiya kinetikasini tadqiq qilish .....	60
<b>M.M.Yadgarova, Sh.B.Hasanov, O.I.Xudoyberganov, Z.Sh.Abdullayeva</b> Ni(II) ionining salitsilamid bilan kompleks birikmasi sintezi va kristall tuzilishi .....	65
<b>O.K.Askarova, G.M.Ikromova, M.Y.Juraev, Э.Х.Ботиров</b> Химический состав эфирного масла из надземной части <i>Haplophyllum acutifolium</i> .....	73
<b>X.V.Isroilova, B.Y.Abdug'aniyev</b> Jundan tayyorlangan matolarning sifat va miqdoriy tarkibini fizik-kimyoviy uslublarda tadqiq qilish .....	78
<b>M.M.Yadgarova, Sh.B.Hasanov, O.I.Xudoyberganov, M.A.Ashirov</b> Cu(II) ionining, salitsilamid hamda trietanolamin bilan kompleks birikmasi sintezi va kristall tuzilishi .....	85
<b>N.T.Xo'jayeva, B.Y.Abdug'aniyev, V.U.Xo'jayev</b> <i>Fritillaria severzovii</i> o'simligi piyozi va uning suvli ekstraktini makro va mikroelementlar tahlili .....	93
<b>X.R.Kosimova, O.A.Bozorboyeva, N.K.Malikova, S.B.Raximov, A.E.Yangibayev, Sh.Sh.Turg'unboyev</b> Cu (II) ionini sorbsion-spektrofotometrik aniqlash .....	97
<b>O.P.Mansurov, B.З.Адизов, X.P.Латилов, Б.Б.Рахимов, М.Ю.Исмоилов</b> Метод производства добавок к бензину .....	103

## BIOLOGIYA

<b>Sh.X.Yusupov, I.I.Zokirov, K.H.G'aniyev, M.A.Masodiqova</b> Zararkunanda hasharotlar populyatsiyasining mavsumiy rivojlanish sur'atlari (no'xat agrotsenozi misolida).....	112
<b>A.K.Xusanov, A.A.Yaxyoyev, J.B.Nizomov, I.I.Zokirov, M.A.Abduvaliyeva</b> Mikroplastiklarni gidrobiontlar organizmiga ta'sirini o'rganilishini adabiyotlarda yoritilishi .....	118
<b>Z.A.Jabbarov, D.K.Begimova</b> Tuproqda B guruh vitaminlarining mikroorganizmlar tomonidan sintez qilinishi.....	123
<b>S.O.Khuzhzhiev</b> Biological wastewater treatment using higher aquatic plants .....	130



UO'K: 663.5:336.226.331(035)

**МЕТОД ПРОИЗВОДСТВА ДОБАВОК К БЕНЗИНУ****METHOD FOR PRODUCING GASOLINE ADDITIVES****BENZIN QO'SHIMCHALARI ISHLAB CHIQARISH USULI****Мансуров Олим Пардабоевич<sup>1</sup>**

Соискатель Джизакского политехнического института

**Адизов Бобиржон Замирович<sup>2</sup>** Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан,  
заведующий лабораторией «Химия нефти»**Латипов Хуршид Равшанович<sup>3</sup>** <sup>3</sup>ООО «Бухарский нефтеперерабатывающий завод»**Рахимов Бекзод Бахтиёрович<sup>4</sup>** <sup>4</sup>Докторант лаборатории «Химия нефти» Института общей и неорганической химии  
Академии наук Республики Узбекистан.**Исмоилов Муминжон Юсупович<sup>5</sup>** <sup>5</sup>Профессор кафедры «Химия» Ферганского государственного университета.**Аннотация**

В данном исследовании экспериментально изучен процесс одновременной сахаризации и ферментации (SSF) с использованием предварительно обработанного простого тростника с *Saccharomyces cerevisiae* в качестве катализатора при изотермических (I) и не изотермических (NI) условиях. Анализ дисперсии результатов NI-OOF использовал параметр Фишера с помощью программы Statistics 7 для выявления значительных различий между экспериментальными данными, полученными при различных температурах. В не изотермических экспериментах температура линейно повышалась в течение 96 часов, и результаты сравнивались с результатами изотермического процесса, включающего одновременную сахаризацию и ферментацию. Концентрация этанола, полученная в процессе не изотермического нагрева с темпом 0,130 °C/час, составила 15,8 г/л. Для сравнения, конечные концентрации этанола для изотермического процесса составили 11,8 г/л при 32 °C и 13,8 г/л при 39 °C. Результаты показали, что не изотермический SSF следует рассматривать как вариант для производства этанола на основе лигноцеллюлозы. Было показано, что более высокие температуры более благоприятны для материала OT. Кроме того, было установлено, что линейно возрастающая температура для такого материала приводит к более высокому конечному выходу этанола по сравнению с лучшим изотермическим процессом. Рентабельность биоэтанола указывает на то, что не изотермический процесс с одновременной сахаризацией и ферментацией обеспечивает достаточно более высокий выход биоэтанола по сравнению с изотермическим процессом.

**Abstract**

This study experimentally investigated the simultaneous saccharification and fermentation (SSF) process using pre-treated simple cane with *Saccharomyces cerevisiae* as a catalyst under isothermal (I) and non-isothermal (NI) conditions. The analysis of the dispersion of NI-OOF results utilized the Fisher parameter through the Statistics 7 software to identify significant differences between experimental data obtained at various temperatures. In non-isothermal experiments, the temperature was linearly increased over 96 hours, and the results were compared with those from the isothermal process involving simultaneous saccharification and fermentation. The ethanol concentration produced during the non-isothermal process with a ramping temperature of 0.130 °C/hour reached 15.8 g/L. In comparison, the final ethanol concentrations for the isothermal process were 11.8 g/L at 32 °C and 13.8 g/L at 39 °C. The findings indicated that non-isothermal SSF should be considered as an option for ethanol production based on lignocellulose. It was shown that higher temperatures are more favorable for the OT material. Additionally, it was

determined that a linearly increasing temperature for such material leads to a higher final ethanol yield compared to the best isothermal process. The profitability of bioethanol indicates that the non-isothermal process with simultaneous saccharification and fermentation provides a sufficiently higher yield of bioethanol compared to the isothermal process.

#### Аннотация

Ushbu ishda *Saccharomyces cerevisiae* qolipi bilan oldindan ishlov berilgan oddiy qamish yordamida izotermik (I) va izotermik bo'lmagan (NI) bir vaqtda shakarlanish va fermentatsiya (CSF) jarayoni eksperimental o'rganildi. NI-OOF natijalari dispersiyasi tahlili Statistics 7 dasturi yordamida turli haroratlarda olingan eksperimental ma'lumotlar o'rtasidagi sezilarli farqlarni aniqlash uchun Fisher parametridan foydalanildi. Izotermik bo'lmagan tajribalarda harorat 96 soat davomida chiziqli ravishda oshirildi va natijalar bir vaqtning o'zida saxarifikatsiya va fermentatsiya bilan izotermik jarayon bilan solishtirildi. Ramping harorati (0,130 ° C / soat) yordamida ishlab chiqarilgan etanol kontsentratsiyasi izotermik bo'lmagan jarayon davomida 15,8 g / L ni tashkil etdi. Taqqoslash uchun, yakuniy etanol kontsentratsiyasi 32 ° C da izotermik jarayon uchun 11,8 g / L va 39 ° C da izotermik jarayon uchun 13,8 g / L ni tashkil etdi. Izotermik bo'lmagan OOF lignotsellyuloza asosidagi etanol ishlab chiqarish uchun variant sifatida ko'rib chiqilishi kerakligini ko'rsatdi. Yuqori harorat OT materiali uchun eng qulay ekanligi ko'rsatildi. Shuningdek, bunday material uchun chiziqli ortib borayotgan harorat eng yaxshi izotermik jarayonga nisbatan yuqori yakuniy etanol hosiliga olib kelishi aniqlandi. Bioetanolning rentabelligi shuni ko'rsatadiki, bir vaqtning o'zida saxarifikatsiya va fermentatsiya bilan izotermik bo'lmagan jarayon, bir vaqtning o'zida saxarifikatsiya va fermentatsiya bilan izotermik jarayonga nisbatan bioetanolning etarlicha yuqori hosildorligini beradi.

**Ключевые слова:** этанол; синтез, общий тростник, ферментация, гидролиз, модульный симулятор.

**Kalit so'zlar:** etanol; sintez, umumiy qamish, fermentatsiya, gidroliz, modulli simulyator.

**Key words:** ethanol; synthesis, common cane, fermentation, hydrolysis, modular simulator.

## ВВЕДЕНИЕ

Производство биотоплива и продуктов на биологической основе из возобновляемой лигноцеллюлозной биомассы будет способствовать развитию сельской экономики, сокращению выбросов парниковых газов и повышению энергетической безопасности. Осахаривание биомассы обычно включает две последовательные стадии: предварительную обработку лигноцеллюлозы/фракционирование и ферментативный гидролиз целлюлозы [1].

Самой большой технологической и экономической проблемой для биоперерабатывающих заводов на биомассе является эффективное высвобождение сбраживаемых растворимых сахаров из недорогой лигноцеллюлозной биомассы по конкурентоспособным ценам [2]. В настоящее время производство биотоплива второго поколения, то есть целлюлозного этанола, не может конкурировать с биотопливом, получаемым из зерна кукурузы и сахарного тростника, из-за его высоких затрат на переработку (около 1-3 долларов за галлон целлюлозного этанола), огромны капиталовложения (2-10 долларов на годовой объем производства этанола) и относительно низки доходов от этанола (2-3 доллара за галлон целлюлозного этанола) [3].

Обыкновенный тростник (ОТ) – один из наиболее популярных видов растений на планете, который занимает больше десяти миллионов гектаров [4]. Он находит достаточно много вариантов традиционного применения в сельских районах на всей планете (включая корм и подстилку для скота, применение в виде строительного материала для жилищ и заборов, и даже в качестве материала для плетения веревок, циновок и сеток для переноски), однако его редко по-настоящему культивируют. Возможно, по той же самой причине, что он растет обильно и бесконтрольно, где бы это ни происходило. Имеется лишь несколько данных о его производстве [5].

Одновременном осаживании и ферментации (ООФ) – это процесс, при котором ферментативный гидролиз и ферментация получающихся сахаров происходят одновременно. ООФ – перспективный технологический метод для получения биотоплива второго поколения. Достоинство ООФ перед отдельным гидролизом и ферментацией (РГФ) – это сниженное ингибирование конечного продукта при ферментативном гидролизе, получившееся посредством сахара, которые образуются в процессе гидролиза. Ингибирование, которое вызывается этанолом (образующимся в ООФ), достаточно низкое, по сравнению с ингибированием целлобиозы и глюкозы при отдельном гидролизе [5].

В нескольких экспериментальных исследованиях [7] таким же способом рассматривался вопрос об изменении температуры в процессе ООФ. Хуан и Чен, [10] использовали хлопья сопки в виде субстрата и *Z. mobilis* в качестве ферментирующего организма, и меняли температуру периодическим образом. Кан исследовал температурные

## KIMYO

сдвиги в процессе ООФ предварительно обработанной соломы ячменя с применением описанного метода *Kluuyveromyces*, как бродящего организма. В обоих исследованиях сообщается о потенциальном увеличении выхода этанола при изменении температуры в процессе ООФ, по сравнению с эталонным изотермическим процессом.

Имеются преимущества и недостатки, затрагивающие оба эти процесса [8]. В работе [9] показано, что процесс ООФ имеет возможность сократить накопление ингибирующих продуктов гидролиза, и таким же образом снизить риск загрязнения из-за присутствия этанола.

Для штаммов *Saccharomyces* и грибковых целлюлаз (больше всего применяемые для стадии гидролиза) имеется необходимость в рабочей температуре 35°C и 50°C соответственно. Работа с пониженными температурами в ООФ может сократить скорость гидролиза посредством повышения времени обработки [10].

Целью рассматриваемого эксперимента является изучение влияния температуры в ООФ, включая неизотермическое исследование, для предварительно обработанных материалов из ОТ с применением промышленного штамма *S. cerevisiae* в качестве ферментирующего организма. Изначально оценивали воздействие температуры на ферментативный гидролиз материала, а после ООФ эксперименты с концентрациями 10% нерастворимых в воде твердых веществ (НВТВ) проводили на лабораторной установке, дающей возможность проводить тщательные измерения образования целевого продукта и побочных продуктов.

В этой работе решающим условием при одновременном осахаривании и ферментации (ООФ) считается выбор температуры процесса, которая является компромиссом между оптимальной температурой для ферментативного гидролиза и температурой для ферментации.

**Методология.**

В качестве субстратов применяли (ОТ). Его химический состав представляет собой сухой тростник, который является достаточно сложным комплексом структурных биополимеров, в основном, полисахаридов и лигнина. Он состоит из 40-45% целлюлозы, лигнина (20%), гемицеллюлозы (24%), углеводов (4-11%) (табл. 1). В свежих растениях содержится витамин С (до 500 мг %).

Таблица 1

Состав предварительно обработанных ОТ

Содержание в твердой фракции (%)		Содержание в жидкой фракции (г/л)	
ОТ		ОТ	
Глюкан	47,0	Глюкоза	12,3
Ксилан	24	Арабиноза	3,0
Лигнин	20,1	Фурфурол	0,6
углеводы	4-11	ОМФ	0,9
		Уксусная кислота	3,9

Ферментативный гидролиз проводили в биореакторе объемом 2,5 л при различных температурных значениях (32, 39 и 45°C). Реактор наполняли предварительно обработанной суспензией (ОТ) для получения содержания НВТВ 10% биомассы. Для достижения нужного содержания, суспензию предварительной обработки разбавляли стерильной дистиллированной водой (ДВ). Содержание белка в ферментесоставляло 143 мг/мл для Celluclast 1,5л и 8451 г/мл для Novozym 188. Концентрация для экспериментов по гидролизу составляла 10 мг/г – для Celluclast 1,5L и 500 г ДВ – для Новозима 188. В случае гидролиза ОТ добавляли  $\text{NaN}_3$  (конечная концентрация 0,02%), для избежания микробного загрязнения.

**Одновременное осахаривание и ферментация (ООФ).** Все эксперименты по ООФ проводились в биореакторах объемом 2,5 л с конечным рабочим весом 1,2 кг. Эксперименты проводились с первоначальным содержанием НВТВ 10%. Для того чтобы получить нужное содержание НВТВ, суспензию при предварительной обработке разбавляли стерильной ДВ.

pH поддерживался на уровне 5,0 в течение всего процесса ферментации и автоматически добавляли 3 м NaOH, а скорость перемешивания поддерживали на уровне 500 об/мин. В среду ООФ добавляли 0,5 г/л  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , 0,025 г/л  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и 1,0 г/л дрожжевого экстракта. Температура устанавливалась постоянной в случае экспериментов с изотермическим ООФ.

В случае неизотермических экспериментов ООФ, для проведения неизотермического ООФ (НИ-ООФ) были выбраны линейно возрастающие температурные профили. Начальная температура составляла 32°C и время замеса – 96 ч были установлены для расчета наклона температурной прямой, чтобы провести сравнение с изотермическим ООФ. Формула выглядит следующим образом:

$$\text{постепенный наклон} = (T_{\text{нач}} - T_{\text{кон}}) / 96, \quad (1)$$

где  $T_{\text{нач}}$  и  $T_{\text{кон}}$  – температуры (°C) ООФ. Была использована начальная концентрация дрожжей 4 г сухого веса/л. Применяемые ферментные препараты оставались такими же, что и в случае эксперимента по гидролизу. В экспериментах ООФ  $\text{NaN}_3$  не добавляли, потому как он токсичен для дрожжей. Пробы из биореактора взяты в процессе ООФ для анализа.

#### Расчеты выгоды

Выход этанола,  $K_{\text{ВЭ}}$ , рассчитывали на основании общего количества сбраживаемых сахаров, добавленных в ООФ, т.е. суммы доступной глюкозы, маннозы и галактозы, содержащихся в суспензии предварительной обработки, включая мономеры, олигомеры и полимеры (глюкановые волокна).

Теоретическая масса глюкозы, выделившейся при гидролизе, была в 1,11 раза больше массы глюкана (из-за добавления воды). Опираясь на максимальный выход этанола 0,51 г/г (выход по гексозам), продуктивность конверсии,  $K_{\text{ВЭ}}$  была рассчитана как  $(K_{\text{ВЭ}} / 0,51) \times 100$ .

#### Статистический анализ

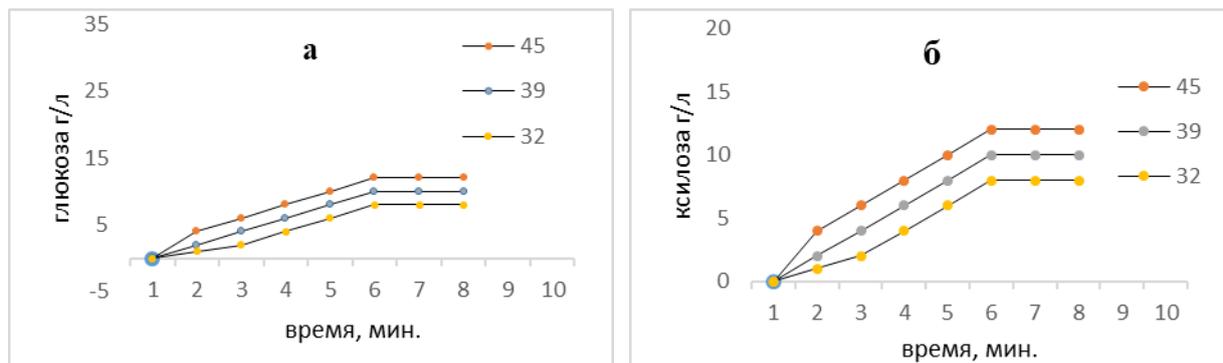
Дисперсионный анализ результатов НИ-ООФ проводился с помощью программы Statistics 7. Наименее значимое отличие (НЗО) параметра Фишера [16] применялось для определения значимых различий между экспериментальными данными, которые были получены при различных температурах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

#### Влияние температуры на гидролиз предварительно обработанных ОТ

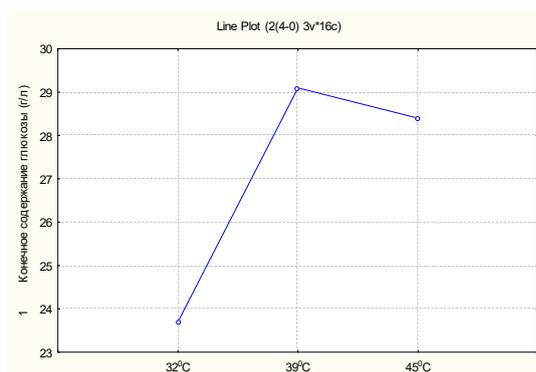
Первоначально были проведены эксперименты по оценке воздействия температуры на ферментативный гидролиз предварительно обработанной ОТ в отсутствие ферментации. Эксперименты по гидролизу проводили при различных температурах 32, 39 и 45°C. Температура при 45°C оказалась неприемлемым вариантом для штамма дрожжей, применяемого в процессе изотермического ООФ, но включилась для оценки потенциального повышения выделения сахара при высоких температурах.

Высвобождение глюкозы в предварительно обработанном сырье возрастало с повышением температуры (рис. 1). В целом, концентрация глюкозы в конце гидролиза у ОТ при всех выбранных температурах, главным образом связана с более высокой начальной концентрацией, но выход глюкозы при ферментативном гидролизе также был примерно на 10% выше (рис. 2).



**Рис. 1 – Высвобождение глюкозы(а) и ксилозы (б) при ферментативном гидролизе предварительно обработанного ОТ при разных температурах**

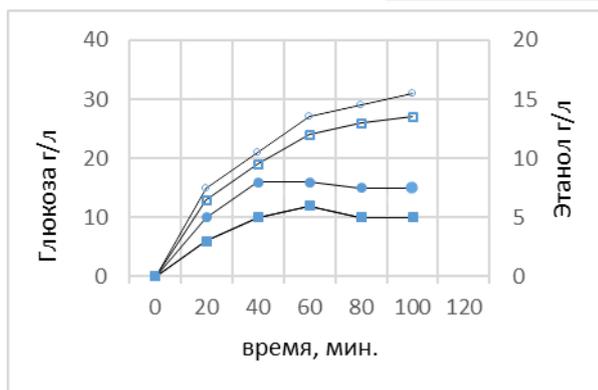
Таким образом, для ОТ конечная концентрация глюкозы при температурах гидролиза 32, 39 и 45°C составляла 23,7, 29,1 и 28,4 г/л соответственно. Влияние температуры на выход глюкозы показано на рисунке 3. В случае ОТ, разница в содержаниях глюкозы по пришествии 96 час при 39 и 45°C. Количество глюкозы, которая выделяется при 32°C, была на целых 18,5% меньше, по отношению с таковым при 39°C – в случае ОТ. Это показывает на то, что ООФ предварительно обработанного ОТ при 32°C может дать значительно более низкий выход этанола, по сравнению с процессом при 39°C.



**Рис. 2 – Влияние температуры на ферментативный гидролиз предварительно обработанной ОТ**

В связи с этим, влияние температуры в ООФ, возможно, будет более критичным для ОТ, но для материалов оптимальные температуры гидролиза явно выше, чем максимально возможная температура ООФ для большинства *S. Cerevisiae*. Однако высвобождение ксилозы в предварительно обработанном ОТ возрастало с повышением температуры. К этому имеет отношение не только гидролиз ксилана в твердой фракции, но и, главным образом, гидролиз ксило-олигомеров в жидкой фракции предварительно обработанного ОТ [10].

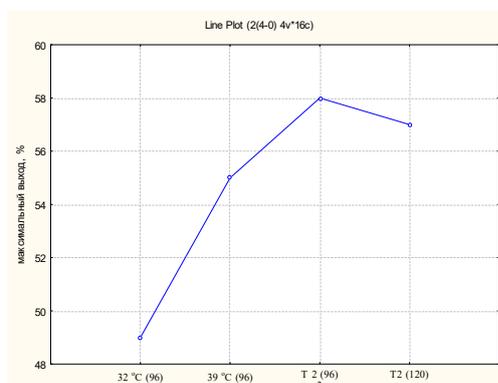
В случае НИ-ООФ был отобран только один температурный наклон (рис.3). Временной ход высвобождения глюкозы и получение этанола вовремя ИЗТ-ООФ и НИ-ООФ показаны линиями А и Б на рис.3.



**Рис. 3 – Измеренные концентрации глюкозы (закрытые символы) и этанола (открытые символы) во время ООФ предварительно обработанного ОТ, проведенного при (А) 32°С (□, ■), 39°С (○, ●) и (Б) с использованием наклона, T2. Температурные профили во время изотермического ООФ (пунктирная линия, 32°С; пунктирная линия, 39°С) и неизотермического ООФ (сплошная линия, T2) предварительно обработанного ОТ**

В изотермических случаях достаточно небольшое накопление глюкозы наблюдалось по прошествии 12 и 24 час при различных температурах таких как 39 и 32°С, соответственно (рис.3). В связи с этим, при температуре 39°С скорость гидролиза была выше, чем скорость ферментации. Накопленная ранее глюкоза в изотермическом ООФ при 39°С, возможно связана с более высокими скоростями гидролиза, а не снижением ферментативной активности штамма. По прошествии 72 ч остаточная глюкоза оставалась константой до 96 ч, что говорит о снижении скорости гидролиза. Во время неизотермического ООФ накопления глюкозы не наблюдались до 96 ч. Во время этого температура достигала 45°С, и, судя по всему, мощность ферментации до этого момента превышала скорость гидролиза. На это аналогично указывало то, что потеря ферментативной способности дрожжей была недостаточно высокой, по сравнению со случаем, где накопление началось по прошествии 72 ч (рис1).

Что касается производительности этанола, начальная скорость была самой высокой в ИЗТ-ООФ при 39 ° С до 24 ч (рис. 5), но по прошествии 24 ч наблюдаемые концентрации этанола были выше в T2–НИ-ООФ, по сравнению с обоими изотермическимислучаями. По прошествии 96 ч наблюдаемое содержание этанола составляло 11,8, 13,8 и 15,8 г/л для изотермического ООФ при 32 °С, 39°С и неизотермического ООФ, соответственно. Скорость брожения в периоде 72-96 ч была выше в неизотермическом варианте, чем в изотермическом, и по данной причине периодическое брожение было увеличено до 120 ч при той же линейно повышающейся температуре. В связи с этим, конечная концентрация этанола повысилась до 16,4 г/л (рис.3), но глюкоза не полностью была израсходована и была получена остаточная концентрация глюкозы 0,9 г/л.



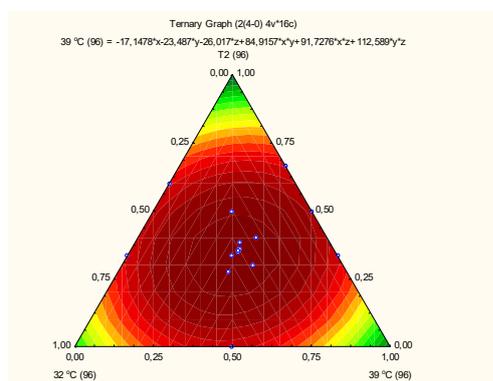
**Рис. 4 – Выход биоэтанола в конце НИ-ООФ с использованием предварительно обработанного ОТ (%)мас**

## KIMYO

Наблюдалось ошутимое высвобождение ксилозы (рис. 5) из предварительно обработанного ОТ. Предварительно обработанный ОТ содержит высокое количество ксилоолигомеров, и было найдено, что эндоглюканызы, обладают ксиланазной активностью.

Среди трех различных температурных условий получения ксилозы во время процесса длительностью 24 ч была наивысшим в случае ИЗТ-ООФ при 39°C, потому как скорость гидролиза была выше.

Одновременное преобразование ксилозы в ксилит наблюдалось во всех экспериментах. Образование ксилита возросло с повышением температуры из-за большего выделения ксилозы при высоких температурах, наблюдаемы в отдельных экспериментах по гидролизу (рис.1). Образование глицерина также варьировалось в ОТ-ООФ, в зависимости от температуры, и было подмечено, что при более высоких температурах выделяется больше глицерина. Остаточные выходы глюкозы, остаточной ксилозы, конечного глицерина, ксилита и этанола сведены в рисунке 5.



**Рис. 5 – Остаточные сахара, восстановленные продукты в конце НИ-ООФ с использованием предварительно обработанного ОТ**

Выход этанола в конце 120 ч был ошутимо больше, по сравнению с выходом по прошествии 96 час при применении НИ-ООФ в случае ОТ (рис. 4,5).

### ВЫВОДЫ

Температурное значение процесса считается одной из важнейших переменных процесса, воздействующих как на кинетику, так и на селективность в процессах микробного возрастания и конверсии, и соответственно в процессах ферментативной конверсии. Изменение температуры в течение процесса воздействует на относительные скорости ферментативного гидролиза и потребление глюкозы, что, возможно, даст общие достоинства процесса. С найденной кинетикой, включая температурную зависимость как ферментативного гидролиза (процесс сам по себе включающий многочисленное количество ферментативных компонентов и субстратов), так и микробной ферментации, роста и клеточной деструкции в процессе ООФ, можно сделать прогнозы и оптимизировать температурный профиль.

Получение этанола в этих исследованиях ООФ с применением постепенного температурного профиля, циклирования прямоугольной волны температуры или изотермической операции (при 37° C) содержали 0,32, 0,23 и 0,23 (г/г), соответственно. Помимо этого, в данной работе изменение температуры в течении процесса ООФ повлияло на значительное увеличение общего выхода.

В настоящей работе мы провели исследование интересного исходного сырья: предварительно обработанные ОТ в ООФ в настоящих условиях с применением промышленного штамма *S. cerevisiae*. Потенциальное предполагаемое увеличение выхода глюкозы с возрастанием температуры для ферментативного гидролиза (рис. 4) было установлено точно. В ООФ применялся линейный, медленно возрастающий температурный профиль, который реализовывается точно так же, как при крупномасштабной эксплуатации. В случае ОТ конечная концентрация этанола для НИ-ООФ с применение уклона T2 была ошутимо выше, по сравнению с конечной концентрацией для ИЗТ-ООФ, проведенного как

при температуре 32°C, так и при температуре 39°C. Это происходило, даже при том, что конечная достигнутая температура, 45°C (в длительном эксперименте даже 48°C), была выше пиковой температуры, позволяющей повышать и поддерживать ферментацию. С увеличением температуры скорость гидролиза возрастает, что может приводить к более повышенному общему высвобождению глюкозы. Благодаря этому, ферментативная способность выдерживается в течение достаточного времени, чтобы привести к общему возрастанию выхода этанола.

При запуске при низкой температуре скорость ферментации изначально будет высокой, что ведет к снижению остаточной концентрации гексозы в смеси. Медленное повышение температуры ООФ обеспечивает наилучшую адаптацию дрожжей к высоким температурам, и, вследствие этого может позволить ферментации протекать при более высоких температурах или в процессе более длительного времени, чем при соответствующем поэтапном изменении температуры.

В экспериментальном сравнении (РГФ) и ООФ ОТ, проведенном в работе [11], с применением штамма *S. cerevisiae*, ферментирующего ксилозу, было установлено, что выход этанола был выше в РГФ (при гидролизе при 45°C и ферментации при 32°C) по сравнению с ООФ при 32°C. В текущем эксперименте содержание этанола, основанное на предположении о полном превращении глюкозы, полученной ферментативным гидролизом (45°C, 96 ч) при максимальном теоретическом выходе, составляло бы 15,5 г/л. Применяя линейно возрастающую температуру в ООФ получим расчетную концентрацию этанола по прошествии 96 ч, равную 15,8 г/л. Неизотермический процесс ООФ, судя по всему, выгодно отличается с точки зрения выхода этанола, не только по сравнению с изотермической операцией, но и с РГФ для случая ОТ. Возрастание температуры можно достичь за счет метаболического тепла, образующегося во время ферментации. Если наклон не слишком высок, то охлаждение приведет к желаемому повышению температуры.

Дрожжи не могут быть легко извлечены в процессе ООФ, даже при изотермической эксплуатации. Это ведет к потере жизнеспособности штамма, в конечном итоге процесса это не повлияет на его экономичность, по сравнению с изотермическим ООФ. Хотя это является недостатком ООФ в целом, по сравнению с работой РГФ.

В дополнение к выходу этанола, концентрация побочных продуктов, таких как ксилит и глицерин, варьировалась в зависимости от температуры и сырья (рис. 5). Образование глицерина и ксилита уменьшилось с повышением температуры в случае исследований ООФ ОТ, а образование этанола увеличивалось. Разницу в образовании ксилита можно понять по увеличению выделения ксилозы при повышении температуры для ОТ. Наличие окислительно-восстановительного поглощения в среде и индуцирование редуктазы также будут влиять на структуру побочных продуктов.

Таким образом, мы продемонстрировали, что неизотермический ООФ необходимо рассматривать как вариант для производства этанола на основе лигноцеллюлозы. Было показано, что высокая температура, была наиболее благоприятной для материала ОТ. Было также установлено, что для такого материала линейно возрастающая температура приводит к более высокому конечному выходу этанола, по сравнению с наилучшим изотермическим процессом. В лучшем неизотермическом ООФ ОТ показано, что конечная концентрация этанола (через 120 ч) составила на 23% и на 15% больше, в сравнении с изотермическим ООФ, проведенным при 32 и 39°C, соответственно. Однако потенциальные преимущества будут зависеть от состава субстрата и условий предварительной обработки, а также от оптимальных температур ферментов и дрожжей и характеристик ингибирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2790725 RU, Способ получения биоэтанола из тростника обыкновенного/ Мансуров Олим Пардабоевич и др.; Заяв.: 27.05.2022. Оpubл.: 28.02.2023. Бюл. № 36.
2. Патент № 2762558 RU, Битумная мастика / Мансуров Олим Пардабоевич и др.; Заяв.: 19.01.2021. Оpubл.: 21.12.2021. Бюл. № 36.
3. Мансуров О. П., Джамалов З. З. Экологические аспекты этанола как биотоплива // Современная наука: актуальные вопросы, достижения. – 2022. – С. 24.
4. Мансуров О. П. Предварительного обработка лигноцеллюлозной биомассы для эффективного процесса производства биоэтанола // Молодой учёный года 2022. – 2022. – С. 18-21.

## KIMYO

5. Джамалов З. З., Мансуров О. П. Современное производство биоэтанола из обыкновенного тростника // Концепции развития науки в современных условиях. – 2022. – С. 18-20.
6. Мансуров О. П., Кемалов А. Ф., Кемалов Р. А. Эколого-ресурсосберегающая технология получения биоэтанола из растительного сырья // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2023. – №. 4. – С. 85-93.
7. Мансуров О. П. Экологически чистое топливо из тростника обыкновенного // Advances in Science and Technology. – 2022. – С. 44-46.
8. Кемалов Р. и др. Топливо-битумный вариант переработки природных битумов и высоковязких нефтей // SCOPUS-2019-11-8-SID85073449219. – 2019.
9. Мансуров О. П., Кемалов А. Ф. Предварительная обработка обыкновенного тростника щёлочью и кислотой для получения биоэтанола // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2023. – №. 2. – С. 27-33.
10. Mansurov O. P. Environmental aspects of bioethanol production methods // Eurasian Journal of Physics, Chemistry and Mathematics. – 2022. – Т. 13. – С. 32-39.
11. Мансуров О. П. Технологии производства биоэтанола из лигноцеллюлозной биомассы в качестве альтернативного топлива // актуальные вопросы современной науки и образования. – 2022. – С. 189-204.
12. Позиллов М. Н., Мансуров О. П., Джамалов З. З. Технология производства битума используя отходы промышленности // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – №. 33. – С. 1259-1262.