

Сучасні способи інтенсифікації процесу екстрагування сахарози з бурякової стружки

А.А. Ліпци, доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій
Н.А. Гусятинська, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри техногенно-екологічної безпеки, Національний університет ДПС України

В статті обґрунтовано сучасні напрямки інтенсифікації процесу екстрагування сахарози з бурякової стружки. Проведено аналіз факторів, що впливають на ефективність процесу екстрагування. На основі експериментальних досліджень зроблено висновки щодо ефективності використання дифузійно-пресового способу вилучення сахарози у поєднанні з обробкою живильної води хімічними реагентами нового покоління, зокрема коагулянтном ОСА та флокулянтном ПГМГ, з метою покращення якості дифузійного соку, підвищення виходу цукру за умови зменшення витрат палива у виробництві.

Ключові слова: екстрагування сахарози з бурякової стружки, інтенсифікація процесу екстрагування, дифузійний сік, коагулянт.

В статье обоснованы современные направления интенсификации процесса экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки. Проведен анализ факторов, влияющих на эффективность процесса экстрагирования. На основе экспериментальных исследований обоснованы выводы относительно эффективности использования диффузионно-прессового способа извлечения сахарозы в сочетании с обработкой питательной воды химическими реагентами нового поколения, а именно – коагулянтном ОСА и флокулянтном ПГМГХ, с целью улучшения качества диффузионного сока, повышения выхода сахара при условии уменьшения расхода топлива в производстве.

Ключевые слова: экстрагирование сахарозы из свекловичной стружки, интенсификация процесса экстрагирования, диффузионный сок, коагулянт.

In the article the modern trends to intensify the process of extracting sucrose from beet chips. Analysis of factors affecting the efficiency of extraction. Based on experimental research conclusions about the effectiveness of the use of diffusion-press method of extraction of sucrose combined with feed water treatment chemical reagents new generation, including coagulant OSA and flocculant PHMGH to improve the quality of juice, increasing the yield of sugar for the reduction of fuel consumption in production.

Keywords: extraction of sucrose from beet cossettes, intensification of the extraction, diffusion juice, coagulant.

Пріоритетним напрямком інноваційної політики України є забезпечення продовольчої безпеки та збільшення частки вітчизняної продукції на світових продовольчих ринках. Бурякоцукрова галузь відіграє вагомий роль у формуванні продовольчого ринку України, що зумовлює актуальність підвищення виходу та покращення якості товарного цукру.

На цукрові заводи України в 2013 році прийнято 9,22 млн. тонн цукрових буряків з середнім показником цукристості 16,26%, перероблено 9,06 млн. тонн цукрових буряків, вироблено 1212,1 тис. тонн цукру. Необхідно зазначити, що за останні роки в Україні обсяг виробництва цукрових буряків зменшився внаслідок значного скорочення площ їх посіву. Зокрема, протягом 2001-2013 рр., посівні площі зменшилися із 757,7 тис. га до 466,4 тис. га (у 2012 р.) і відповідно – 270,4 тис. га у 2013 р. [1]. Поряд з цим необхідно відмітити по-

зитивну тенденцію щодо збільшення врожайності та цукристості буряків, що зумовлюється як впровадженням нових сортів та гібридів, так і застосуванням сучасних агротехнологій. Так, середня врожайність підвищилася до 397 ц/га (2013 р.) порівняно з 210,3 ц/га (середня за 2001-2005 рр.). За умови використання високоякісного насіння, дотримання принципів сучасної агротехнології, потенціал сортів і гібридів є досить високим. Проте необхідно відмітити, що цукрові буряки іноземної селекції характеризуються більш низькою стійкістю до мікробіологічних уражень як під час вегетації, так і зберігання коренеплодів порівняно до українських сортів та гібридів, що призводить до ряду труднощів при їх переробленні.

В цілому, ефективність роботи підприємств цукрової галузі визначається багатьма факторами і, зокрема, коефіцієнтом виробництва, значення якого залежить від цукристості буряків та ве-

личини втрат сахарози на всіх ділянках приймання, зберігання, транспортування та перероблення буряків, а також від вмісту сахарози в мелясі. Серед основних чинників, що впливають на якість товарного цукру та техніко-економічні показники виробництва слід виділити забезпечення технологічної якості сировини, впровадження ефективних способів інтенсифікації технологічних процесів та сучасного обладнання. При цьому інтенсифікація технологічного процесу досягається на основі одного або декількох принципів, які реалізуються за допомогою різних методів і способів.

Однією із основних стадій бурякоцукрового виробництва є екстрагування сахарози з бурякової стружки, метою якого є забезпечення високої якості дифузійного соку за умови найбільш раціонального ступеня вилучення сахарози та найменших її втрат від розкладання. Вирішення поставленого завдання здійснюється шляхом аналізу факторів, що впливають на процес, та застосування відповідних методів реалізації та інтенсифікації.

Серед факторів, що впливають на ефективність процесу екстрагування слід визначити три групи:

1) якість цукрових буряків (вміст некондиційних коренеплодів – уражених кагатною гниллю чи слизистим бактеріозом, підмерзлих, в'ялих, дерев'янистих; ступінь відмивання; вміст бою та хвостиків тощо) та бурякової стружки (довжина 100 г стружки, вміст браку, шведський фактор, число П.М. Сіліна);

2) фактори апаратурно-технологічного оснащення бурякопереробного відділення (вид обладнання, відповідність виробничій потужності, ступінь зношення, спосіб дії тощо);

3) фактори, що визначаються можливістю оперативного регулювання оптимальних параметрів технологічного режиму (встановлення оптимальних значень рН живильної води, температури та тривалості процесу екстрагування на основі оцінки технологічної якості сировини, рівня мікробіологічної забрудненості тощо).

Згідно сучасних положень, вилучення сахарози із бурякової стружки у безперервно-діючих дифузійних апаратах передбачає дві стадії процесу:

- перша стадія – екстрагування;
- друга стадія – механічне вилучення сахарози із жому за допомогою пресування.

Проте необхідно зазначити, що, незважаючи на переваги дифузійно-пресового способу вилучення сахарози, ряд заводів працюють з використанням дифузійних установок без жомових пресів або за схемою скидання жомопресової води на поля фільтрації, що не тільки екологічно недопустимо, але й призводить до матеріальних та енергетичних втрат для цукрових заводів.

Основними факторами, що визначають ефективність процесу екстрагування сахарози з буря-

кової стружки згідно теорії П.М. Сіліна [2], є температура, активна поверхня, різниця концентрації та тривалість екстрагування, при цьому збільшення значень кожного з цих факторів сприяє підвищенню дифузійного ефекту. Важливими показниками, які характеризують проникну здатність бурякової тканини є ступінь плазмолізу клітин бурякової тканини та коефіцієнт молекулярної дифузії сахарози у буряковій тканині.

Технологічна якість дифузійного соку визначається вмістом сахарози, а також кількістю і характеристикою нецукрів. Значну частину нецукрів дифузійного соку складають високомолекулярні сполуки, головним чином, білки, пектинові речовини, арабан, галактан та сапонін. Більша частина високомолекулярних сполук видаляється при подальшому очищенні дифузійного соку вапном та діоксидом вуглецю [3]. Проте за підвищеного вмісту пектинових речовин у дифузійному соку погіршуються фільтраційно-седиментаційні властивості соку і сатурації, а також показники якості очищеного соку, що призводить до зниження виходу товарного цукру з одиниці сировини та погіршення його якості.

Таким чином, напрямки інтенсифікації під час екстрагування сахарози з бурякової стружки визначаються потребою у підвищенні ефективності процесу та покращенні технологічних показників якості одержуваного дифузійного соку. Аналіз літературних джерел свідчить, що поставлена мета може бути досягнута шляхом застосування хімічних реагентів для обробки живильної води та бурякової стружки в процесі екстрагування. Перспективним напрямком є використання хімічних реагентів нового покоління, зокрема коагулянтів – основних солей алюмінію та флокулянтів, які містять гуанідинову групу.

Нами проведено ряд досліджень, під час яких підтверджено ефективність застосування катіонних коагулянтів та флокулянтів для оброблення живильної води та бурякової стружки [4, 5]. Серед переваг застосування хімічних реагентів

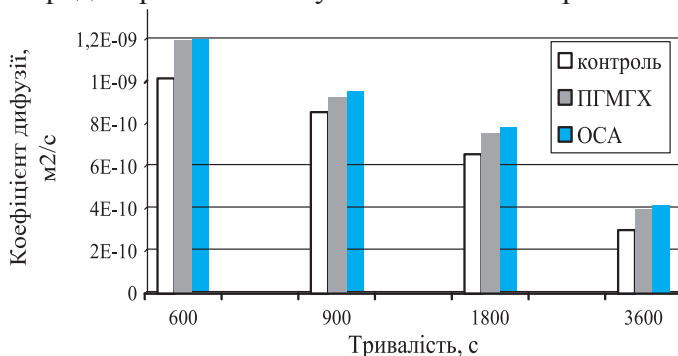


Рис. 1. Значення коефіцієнта дифузії сахарози $Dx10^{-9}$ (m^2/c) в залежності від тривалості теплової обробки бурякової стружки (600, 900, 1800 та 3600 с) у разі застосування живильної води, обробленої шляхом сульфатації (контроль) та додаткового введення коагулянту ОСА та флокулянту ПГМГХ.

слід визначити підвищення пружності бурякової стружки та коефіцієнту дифузії сахарози. Так, застосування коагулянту основного сульфату алюмінію (ОСА) у кількості 0,025% до маси буряків або флокулянту полігексаметиленгуанідину гідрохлориду (ПГМГХ) – у кількості 0,002% до маси буряків сприяє збільшенню коефіцієнта дифузії сахарози з бурякової тканини в середньому на 10-20% (рис. 1).

При визначенні проникних властивостей бурякової тканини для екстрагування сахарози враховують, в основному, структуру клітинних стінок та наявність отворів (каверн), якими з'єднується протоплазма сусідніх клітин [6]. На рис. 2 наведено мікрофотографії бурякової тканини до (рис. 2а) і після теплової обробки: сульфітованою барометричною водою (рис. 2б) а також обробленою у кількості 0,025 % основним сульфатом алюмінію (рис. 2в). Під час теплового оброблення бурякової тканини спостерігається зміна структури клітинної стінки та її розша-

кової стружки сприяє покращенню якості дифузійного соку.

На рис. 3 наведено залежності ефекту очищення соку під час екстрагування сахарози з бурякової стружки від рН живильної води: у разі застосування для її обробки сірчистого ангідриду та основного сульфату алюмінію. Під час застосування сульфітованої барометричної води ефект очищення соку в процесі екстрагування в середньому становив 10...14%. Необхідно зазначити, що найвищі показники ефекту очищення соку у разі застосування ОСА досягалися в діапазоні температури процесу 70...75 °С та рН₂₀ живильної води 5,8...6,3. В середньому, ефект очищення соку під час екстрагування сахарози із застосуванням для обробки живильної води коагулянту ОСА в кількості 0,02...0,03% до маси буряків становив 22...26%, а вміст пектинових речовин у дифузійному соку відповідно зменшився на 30-40% порівняно до їх вмісту у контрольному дифузійному соку (рис. 5а). Середнє значення ефекту очищен-

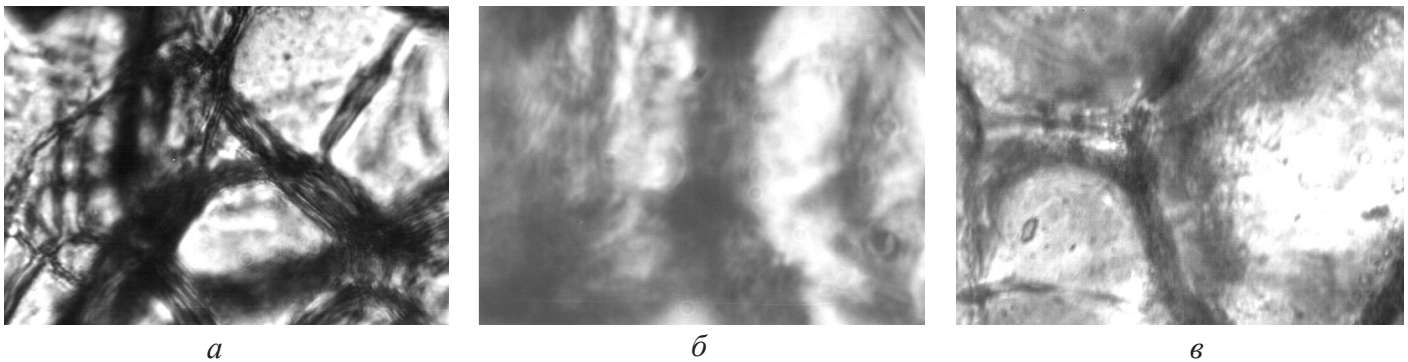


Рис. 2. Мікрофотографії бурякової тканини (збільшення у 640 разів), де а – бурякова тканина до теплової обробки стружки; б – після теплового оброблення стружки сульфітованою барометричною водою за температури 72 °С протягом 80 хв.; в – за таких же умов при обробленні барометричної води коагулянтом ОСА

рування внаслідок набухання целюлози. Окрім того, відбуваються реакції гідролізу складних сполук, зокрема протопектину, внаслідок чого спостерігається збільшення товщини клітинної стінки, яке супроводжується втратою її структури (рис. 2б), що призводить до зменшення пружності бурякової тканини і погіршення її проникних властивостей.

Аналіз мікрофотографії (рис. 2 б) показує, що у випадку оброблення бурякової стружки барометричною водою з рН 6,2 (за температури 72 °С протягом 80 хв) відбуваються незворотні фізико-хімічні процеси, внаслідок яких змінюється структура клітинної стінки. В той же час, у разі застосування для обробки живильної води коагулянту основного сульфату алюмінію (рис. 2 в) структура клітинної стінки не зазнає значних змін, що забезпечує пружність бурякової тканини і, відповідно, здатність жому до пресування.

Окрім підвищення ефективності процесу екстрагування за рахунок забезпечення необхідних проникних властивостей бурякової стружки, застосування коагулянту ОСА або флокулянту ПГМГХ для обробки живильної води та буря-

ня соку під час екстрагування при застосуванні ПГМГХ у кількості 0,001...0,004% до маси буряків складає 17...21% (рис. 4). Таким чином, можна зробити висновок про ефективність застосування хімічних сполук, зокрема коагулянту основного сульфату алюмінію та флокулянту ПГМГХ для обробки живильної води в процесі екстрагування сахарози з бурякової стружки.

Особливі труднощі виникають при переробленні сировини погіршеної якості – тривалого зберігання, з наявністю загнилої тканини. Так, при зберіганні коренеплодів цукрових буряків під дією пектолітичних ферментів відбувається гідроліз протопектину та збільшення вмісту розчинних пектинових речовин у клітинному соку буряків. Значне накопичення пектинових речовин у буряковому соку спричинює зниження чистоти дифузійного та очищеного соків і негативно впливає на перебіг технологічних процесів очищення і кристалізації.

За результатами досліджень встановлено, що у разі перероблення буряків погіршеної якості (з наявністю до 5% коренеплодів, уражених кагатною гниллю), у контрольному дифузійному соку,

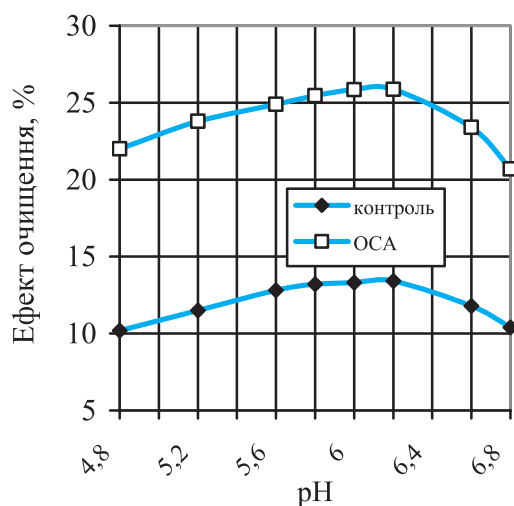
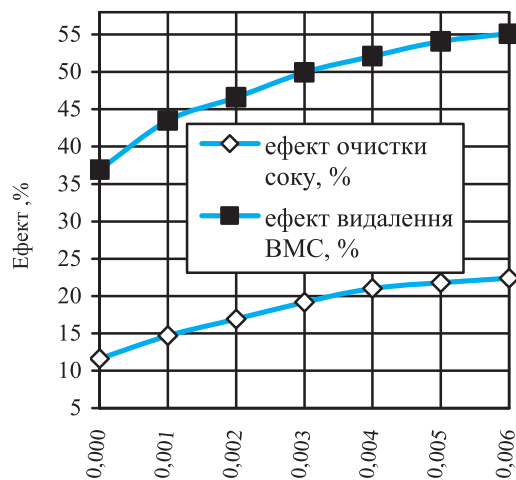
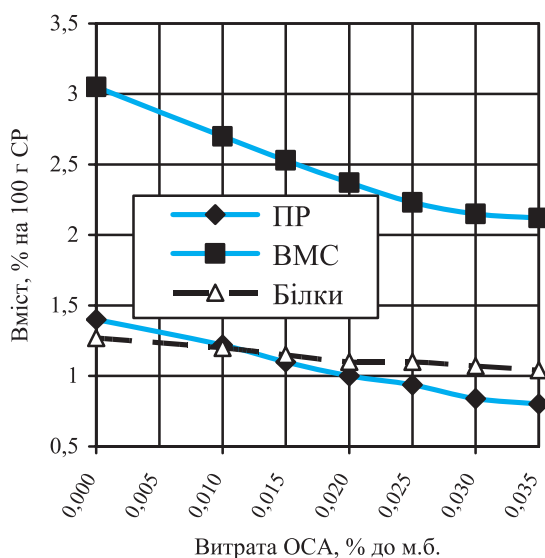


Рис. 3. Залежність дифузійного ефекту очищення соку від рН живильної води за умови її обробки сульфитацією (контроль) та коагулянтном ОСА.

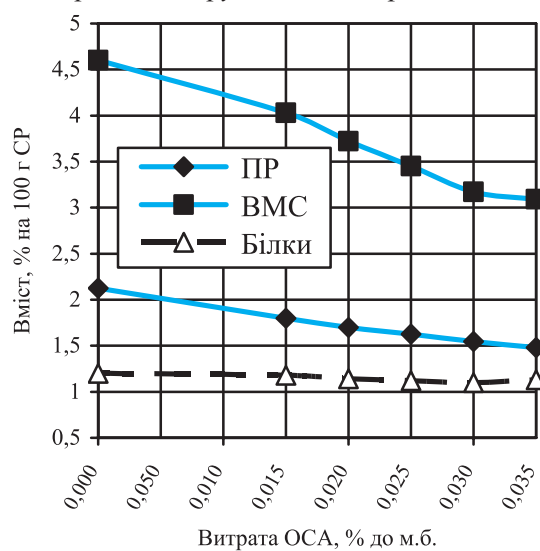


Витрати ПГМГХ, % до м.б.

Рис. 4. Залежність дифузійного ефекту очищення соку та ефекту видалення високомолекулярних сполук (ВМС) під час екстрагування сахарози з бурякової стружки від витрат ПГМГХ.



а



б

Рис. 5. Залежність вмісту ВМС, в тому числі білків та пектинових речовин (ПР) у дифузійному соку від витрати основного сульфату алюмінію (ОСА) для підготовки живильної води: а) при переробленні кондиційних буряків з терміном зберігання до 4 тижнів; б) цукрових буряків тривалого зберігання з вмістом коренеплодів, уражених кагатною гниллю до 5%.

одержаному із застосуванням сульфатованої барометричної води, вміст високомолекулярних сполук (ВМС) збільшився до 4,5% на 100 г СР, в тому числі вміст пектинових речовин – до 2,3% на 100 г СР. Проте вміст білкових речовин в дифузійному соку дещо зменшився порівняно до дифузійного соку, одержаного з кондиційних буряків (рис. 5а, 5б). В той же час, можна зробити висновок про зменшення у дифузійному соку вмісту високомолекулярних сполук, в тому числі пектинових речовин, при застосуванні основного сульфату алюмінію для обробки живильної води.

В промислових дифузійних апаратах не завжди досягається оптимальний температурний режим, що особливо стосується апаратів нахилоного типу, внаслідок наявності проблем недостатнього нагріву у початковій стадії екстрагування, а також локальних перегрівів у середній частині апа-

рату, особливо в граничних до парових камер зонах. Крім того, іноді на цукрових заводах експлуатуються дифузійні апарати з потужністю, що значно перевищує виробничу потужність заводу (або виробничу потужність знижується внаслідок уповільнення технологічних процесів у фільтраційному чи кристалізаційному відділеннях), що призводить до збільшення тривалості екстрагування на 20-40%. Необхідно зазначити, що внаслідок підвищення температури процесу екстрагування вище за 75 °С спостерігається значне накопичення високомолекулярних сполук у дифузійному соку. Так, у разі застосування сульфатованої живильної води (рис. 6), вміст високомолекулярних сполук збільшується на 25-45% при підвищенні температурного режиму до 75-80 °С. Збільшення тривалості процесу від 60 до 90 хв. також спричинює збільшення вмісту високомолекулярних спо-

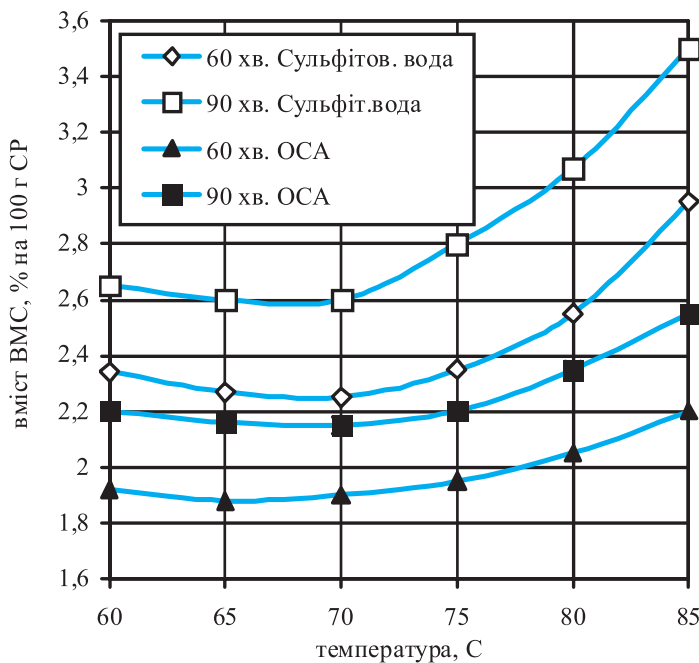


Рис. 6. Залежність вмісту ВМС у дифузійних соках від температури процесу екстрагування (при тривалості процесу 60 та 90 хв.) у разі застосування сульфитованої барометричної води і води, обробленої ОСА.

лук у соках на 10–20%. В той же час, можна зробити висновок про зменшення приросту накопичення вмісту високомолекулярних сполук у дифузійних соках при застосуванні основного сульфату алюмінію.

Також необхідно відмітити, що при використанні коагулянту ОСА (рис. 6) в інтервалі температур від 60 до 80 °С загальний вміст ВМС в одержаних дифузійних соках змінюється не значно.

Таким чином, застосування основного сульфату алюмінію для підготовки живильної води під час екстрагування сахарози з бурякової стружки сприяє зменшенню вмісту високомолекулярних сполук, у тому числі пектинових речовин, в дифузійних соках при незначних витратах реагенту, що становлять 0,02...0,03% до маси буря-

ків (при переробленні кондиційних буряків) та 0,025...0,035% до м.б. (при переробленні буряків погіршеної якості). Необхідно також зазначити, що у разі застосування коагулянту можливе підвищення оптимального температурного режиму процесу екстрагування в середньому на 3...5 °С порівняно з типовим способом підготовки екстрагенту шляхом сульфитації барометричної води, що забезпечує зменшення витрат дезінфікуючих речовин за рахунок термічної стерилізації сокостружкової суміші.

Окрім того, при встановленні оптимальних параметрів процесу екстрагування, зокрема тривалості процесу та значення рН₂₀ живильної води, необхідно враховувати й особливості перебігу процесу розкладання сахарози внаслідок кислотного каталізу. На рис. 7 наведено експериментальні залежності приросту вмісту редуковувальних речовин у дифузійному соку від рН, температури та тривалості процесу екстрагування.

В результаті математичного оброблення даних експериментальних досліджень одержано рівняння приросту редуковувальних речовин:

$$\Delta PP = -0,106 \cdot x \cdot y - 0,098 \cdot x \cdot z + 0,014 \cdot y \cdot z - 0,014 \cdot x^2,$$

де PP – приріст редуковувальних речовин, % до початкового вмісту, x – величина рН₂₀; y – тривалість, хв.; z – температура, °С.

Таким чином, зниження рН₂₀ дифузійного соку до величини 4,5...5,0 призводить (за тривалості 90 хв. і середньої температури процесу екстрагування 70 °С) до збільшення вмісту редуковувальних речовин у дифузійному соку на 40-55% порівняно до вихідного вмісту редуковувальних речовин. При значеннях рН₂₀ соку під час екстрагування в межах 5,5-6,3 приріст вмісту редуковувальних речовин складає 16-25%.

Отже, у разі перероблення буряків низької якості, з показником рН₂₀ клітинного соку – 4,8...5,2, величина втрат сахарози від розкладан-

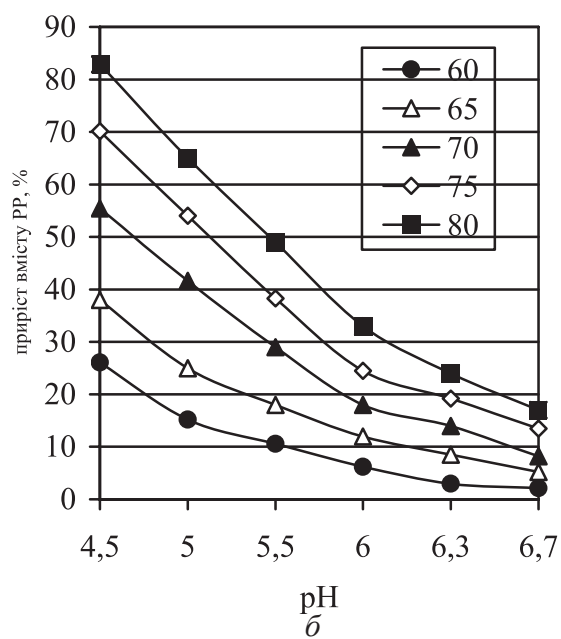
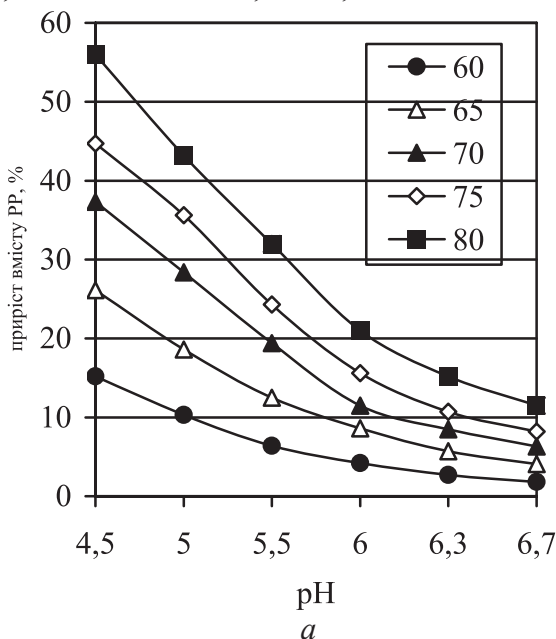


Рис. 7. Залежність приросту вмісту редуковувальних речовин (PP) (% до початкового вмісту) від рН₂₀ середовища за температури 60-80 °С та тривалості: а) 60 хв.; б) 90 хв.

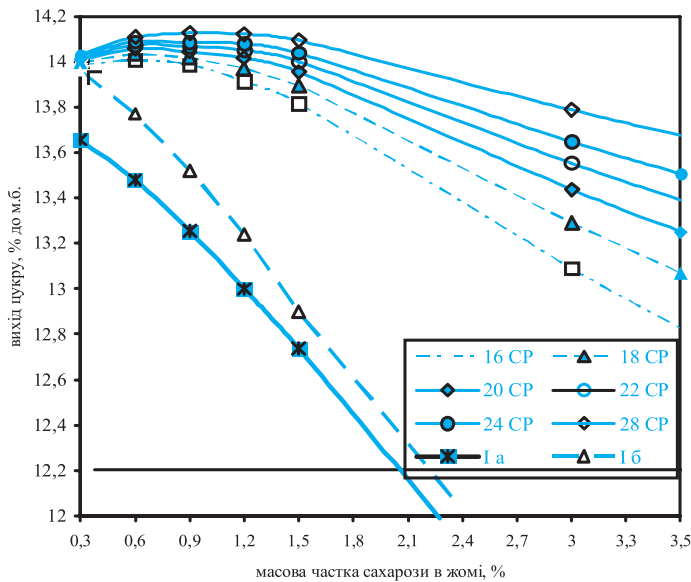


Рис. 8. Залежність розрахункового виходу цукру від вмісту сахарози у жомі після дифузійного апарату за умови повернення хімічно очищеної (із застосуванням ОСА) жомопресової води, одержаної шляхом пресування жому до вмісту сухих речовин (СР) 16...28%, та без повернення жомопресової води: Іа – за способом сульфатації барометричної води; Іб – за способом обробки барометричної води ОСА.

ня до редукувальних речовин внаслідок кислотного каталізу під час екстрагування в 2-3 рази перевищує аналогічний показник при переробленні кондиційних буряків.

Для зменшення приросту вмісту редукувальних речовин в дифузійному соку під час екстрагування сахарози з бурякової стружки доцільним є зменшення тривалості процесу. При цьому повнота знецукрення стружки досягається шляхом її пресування та повернення жомопресової води до дифузійного апарату. Крім того, такий режим роботи дифузійного апарату дозволяє знизити відкачку соку, що сприяє зменшенню витрат палива і є актуальним для бурякоцукрової галузі [7].

З метою визначення оптимальних меж знецукрення бурякової стружки у дифузійному апараті нами розроблено методику розрахунку очікуваного виходу цукру. Шляхом математичного моделювання визначали очікуваний вихід цукру з одиниці сировини в залежності від варіанту роботи дифузійної установки, а саме: І – вилучення сахарози з бурякової стружки дифузійним способом (Іа – з використанням сульфатованої барометричної води, Іб – з використанням живильної води, обробленої ОСА); ІІ – вилучення сахарози дифузійно-пресовим способом з використанням ОСА для підготовки живильної води. Графічні залежності (рис. 8) одержані для показників якості сировини: $D_r = 16,8\%$; $\chi_{\text{кл. соку}} = 86,0\%$ за умови залишкового вмісту сахарози в жомі на виході з дифузійного апарату в межах 0,3...3,5%.

Аналіз результатів математичного моделювання (рис. 8) свідчить, що найбільш ефективним є дифузійно-пресовий спосіб вилучення сахарози з

бурякової стружки із застосуванням коагулянту основного сульфату алюмінію для обробки живильної води. Так, при екстрагуванні до вмісту 0,3% сахарози у жомі із застосуванням барометричної води, обробленої ОСА, підвищення виходу цукру з одиниці сировини становить 0,35...0,4% до маси буряків. У разі застосування дифузійно-пресового вилучення сахарози з бурякової стружки при обробленні живильної води ОСА у кількості 0,025...0,03% підвищення виходу цукру становить 0,4...0,6% до маси буряків.

Таким чином, застосування дифузійно-пресового способу вилучення сахарози, дозволяє проводити процес екстрагування до залишкового вмісту сахарози в стружці 1...2%, що сприяє зменшенню тривалості процесу, можливості підвищення температурного режиму, а також збільшенню продуктивності дифузійного апарату. При цьому знижується величина відкачки дифузійного соку на 10-20%, що дозволяє зменшити витрати палива у виробництві цукру.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що встановлення оптимального режиму екстрагування сахарози з бурякової стружки потребує комплексного підходу з врахуванням сучасних розробок щодо інтенсифікації процесу. Використання дифузійно-пресового способу вилучення сахарози у поєднанні з обробкою живильної води хімічними реагентами нового покоління, зокрема коагулянтном ОСА та флокулянтном ПГМГХ, дозволяють покращити якість дифузійного соку, підвищити вихід цукру за умови зменшення витрат палива у виробництві.

Список використаних джерел

1. Ярчук М.М. Підсумки роботи бурякоцукрової галузі України за 2013 рік та завдання на поточний рік // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.sugarconf.com/custom/files/ua_2014_03/28-71.pdf
2. Силин П.М. Технологія сахара / П.М. Силин. – М. : Пищ. пром-сть, 1967. – 624 с.
3. Рева Л.П. Фізико-хімічні основи технологічних процесів очищення дифузійного соку у виробництві цукру / Л.П. Рева. – К. : НУХТ, 2012. – 371 с.
4. Гусятинская Н.А. Использование коагулянтов для повышения качества диффузионного сока / Н.А. Гусятинская, А.А. Липец // Сахар. – 2005. – №5. – С. 37-40.
5. Гусятинська Н.А. Удосконалення технології екстрагування сахарози із застосуванням сучасних способів фізико-хімічної дії на бурякову стружку / Н.А. Гусятинська, Т.М. Чорна, А.А. Липец // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : Вид-во ЛАНУ, 2006. – №64 (87). – С. 117-121.
6. Лысянский В.М. Процесс экстракции сахара из свеклы / В.М. Лысянский. – Теория и расчет. – М. : Пищ. пром-сть, 1973. – 224 с.
7. Сьветліцкі С. Можливості збільшення продуктивності дифузійних апаратів типу Dds (DC) / С. Сьветліцкі С. // Матеріали наук.-техн. семінару цукровиків України. – К. : «Цукор України» – 2002. – С. 137-141.