

ӘОЖ 539.143.43.681.501
FTAXP 50.47.02

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2024-21-1-19-27>

¹Алдибекова А.Н.,
магистр, ORCID ID: 0000-0003-4736-6686,
e-mail: aitikul.aldebekova@gmail.com

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., 050012, Қазақстан

МАГНИТ ӨРІСІ КӨМЕГІМЕН СҮТ САПАСЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Аңдатпа

Өндірісте физикалық және химиялық талдау арқылы өндірілетін өнімнің сапасын бақылаудың әртүрлі әдістері жетіп артылады. Соңғы жылдары азық-түлік өндірісі кезінде технологиялық процесстерді басқару мен бақылау кезінде ядролық магниттік резонанс (ЯМР) құбылысының принципін кеңірек пайдалану қолға алынуда. Берілген жұмыста сүт сапасын магнит өрісі арқылы автоматтандырылған басқару мақсатында ядролық магниттік резонанс құбылысын қолдану мүмкіндіктері қарастырылған. Аталған өнімнің ЯМР спектрлерінің изотоптарын зерттей отырып өнімнің табиғи немесе қоспа екенін, яғни оның құндылығы мен сапасын анықтауға болады. Сондай-ақ бұл жұмыста технологиялық процесстің құрылымдық сызбасы ұсынылып, автоматтандырылған басқару жүйесінде электромагниттердің көмегімен магнит өрісін тудыра отырып ЯМР-дің сигналдарын қабылдап, оны өндеудің өрнектеріне түсініктеме берілген. Аталмыш әдіс тек процессті бақылап қана қоймай, сүт және сүт өнімдерінің физикалық қасиеттерінің өзгеруіне ықпал ете отырып, сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Ол үшін тудырылған магнит өрісінің оңтайлы мәнін таңдап, орнықтырып алғаннан кейін оны өте жоғары дәлдікпен бақылап ұстап тұру қажет. Магнит өрісінің таңдалып алынатын мәні өнімнің әр физикалық қасиетіне байланысты өзгеріп отыруы қажеттігін айта кету керек.

Тірек сөздер: магнит өрісі, сүт сапасын бақылау, ядролық магниттік резонанс, автоматтандыру және басқару.

Кіріспе

Сұйық өнімді магниттеуге арналған құрылғыларда сүттің физико-химиялық қасиеттерін жақсы жаққа өзгерту үшін бірнеше шамаларды тұрақтандыру қажет [1]. Шығыс параметрлердің тұрақтанған мәндерін алу үшін бір жағынан түтіктен өтіп жатқан сүттің ағу жылдамдығын өте жоғары дәлдікпен қадағалап және оны біраз уақыт бойы ұстап тұру керек болса, екінші жағынан өнімге әсер етуші магнит өрісін де қырағылықпен бақылап тұру қажет. Аталған шамалар қондырғының типіне байланысты белгілі бір өлшемдерді ғана өзгерте алады [2].

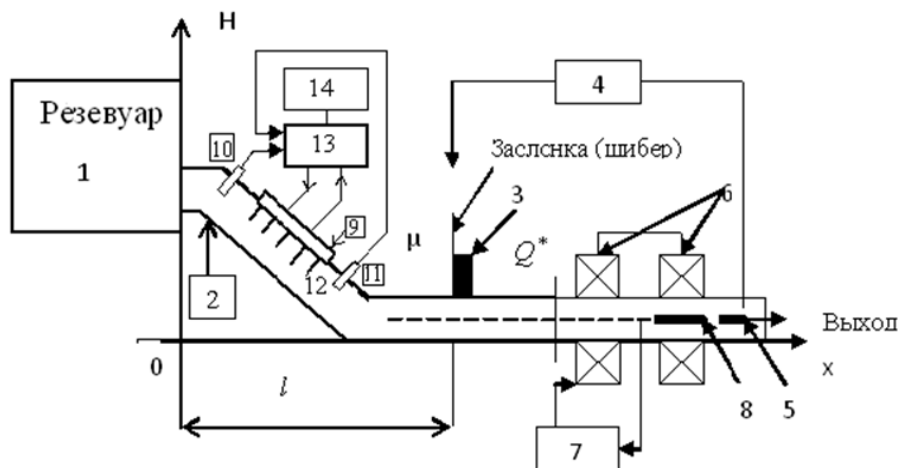
Құбыр бойымен сұйық ағынының жылдамдығын тұрақты ұстап тұрудың әртүрлі жолдары бар [3, 4], мысалы, модификацияланған Мариотт түтіктерін қолдану. Берілген жұмыста тәжірибелік қондырғыда тұрақтандырылған сұйықтың ағынын алудың жалпылама тәсілі қарастырылған [5].

Жазылған ғылыми мақаланың негізгі міндеті: ядролық магниттік резонанс құбылысының принципін қолдана отырып сүт және сүт өнімдерінің сапасын бақылау мен басқару мақсатында автоматтандырылған басқару жүйесін құру.

Негізгі ережелер

1-суретте қондырғының құрылымдық сызбасы ұсынылған [6]. Сүт фермаларынан келген сүт көлемді ыдысқа (1) құйылады, ол құбыр (2) арқылы реттеуіш құрылғыға (3) келіп жетеді, бұл бөлік құбырдағы сұйықтың ағыс жылдамдығын басқарып отыратын датчикке жалған-

ған (5) автореттеуіш жүйесімен (4) жабдықталған. Ары қарай сүт магнит өрісінің туындататын қос квадрапульді линзалары (6) арқылы ағып өтеді, ал оның шамасы магнит өрісі кернеулігінің датчигіне (8) жалғанған автоматтандырылған басқару жүйесімен (7) реттеліп отырады.



Сурет 1 – Қондырғының жалпы құрылымдық сызбасы

Бұл магниттелу жүйесіне келіп түскен өнімнің температурасы $3-4^{\circ}\text{C}$ болуы керек. Осы мақсатта Пельте эффектісінің негізіндегі сұйықты реттеу жүйесі қолданылады. Реттегіш Пельте элементінің (9) көмегімен салқындатып тұратын құрал құбырдың ішіне орнатылған жазық параллель алюминийден жасалған пластиналардан (12) тұрады. Ол жердегі жоғары температура құбырдың сыртында орналасқан ауаны салқындатып тұратын радиатордың (14) көмегімен сыртқа шығарылып отырады. Құбырдағы сүттің температурасын $3 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ арасында ұстап тұру үшін температура реттегішінің тізбегіне кіретін термиялық кедергілер ретінде қолданылатын температура датчиктеріне (10, 11) қосылған электронды басқару құрылғысы (13) пайдаланылады [7].

Материалдар мен әдістер

Сұйықтың магниттелу бөлімін қарастырайық. Ядролық магниттік шығындарды алғашқы түрлендіргіш екі бөліктен тұрады: В индукциялы тұрақты магнит өрісін тудыратын поляризатор мен Лармор жиілігінің айнымалы магнит өрісінің әсері арқылы туындайтын ядролық магниттік резонансты (ЯМР) туындататын резонатор. Поляризатор мен «резонатордың» арасына ядроның магниттелуі векторына әсер ететін нутация катушкасы орнатылады және онымен ЯМР-дің сигналының мәні емес, онымен байланысты кейбір басқа шамалар, мысалы, нутационды катушкадағы ток күші немесе одан ЯМР сигналын қабылдайтын катушкаға дейінгі өнімнің қозғалу уақыты сияқты параметрлер өлшенеді [8].

Поляризатор М сұйықтың магниттелу векторының тұрақтылығын және жеткілікті жоғары мәнін қамтамасыз етіп тұратын магниттен тұратын болса, ал резонатор бөлігі тұрақты магниттен, екі модуляция катушкасынан, ядролық магниттік резонанс сигналдарын қабылдап алып, оларды қоздыратын катушкадан құрастырылған. Сұйық ағып өтетін құбырдың екі жағына қондырылған модуляция катушкасы төменгі жиілігі ω_p генератордан қорек алып отырады. Осындай жиілікте бұл катушкалар B_p тұрақты магнит өрісінің индукциясын өзгерте алады, ендеше, оның резонансы жиілік шамасы $\omega_p = \gamma$ болатындай өзгереді. Бұл ЯМР сигналының шу мен кедергіден ω_m резонансы арқылы бөлінуін жеңілдету үшін жасалады. М магниттелу проекциясына пропорционал және B_p өрісіне перпендикуляр болып келетін қабылдап отыратын катушкадағы ЯМР сигналдарын алу үшін B_p өрісіне перпендикулярлы

түрде бағытталған өр резонансты жиілікте болатын айналмалы магнит өрісімен сұйықтыққа әсерін тигізу керек [9].

Магнит өрісін тудырушы катушкаларды екі бөлек қолданған кезде, сұйық ағып жатқан құбырды қоршап тұрғаны қабылдауыш, ал бірінші аталған өріс пен өрістің B_p индукциясына перпендикуляр бағытталып тұрғаны қоздырғыш рөлін атқарады [10]. Қоздырушы катушка құбырдың екі жағына бекітілген екі секциялы бөліктен тұрады. Ары қарай ол жоғары жиілікті генераторға жалғана отырып өр жиіліктегі резонансты магнит өрісін туындатады. Қабылдағыш катушка зорайтқышқа жалғанады. Оның ұзындығы қоздырғыш катушкадан қысқа болған себепті одан өткен кезде сұйықтың ядролық магниттелу релаксация әсерін азайтуға ықпал етеді. Оның l_k ұзындығын $l_k \ll T_1 v$ шартынан таңдаған жөн, мұндағы T_1 – релаксация уақыты, v – сұйықтың орташа жылдамдығы.

Тағы бір әдісі бір мезетте ω_p жиіліктегі резонансты өрісті қоздыратын, әрі ЯМР сигналдарын қабылдай алатын құбырды қоршап тұрған бір катушканы қолдану тәсілі [11]. Соңғысы резонансты өрісті қоздыратын катушкаға жалғанған жоғары жиілікті генератор тудыратын кернеудің фонында қабылданады. Алдыңғы жағдайда екі түрлі катушка үшін ЯМР сигналдары қоздырғыш катушканың кедергі фонында байқалады.

Екі жағдайда да фоннан сигналды оқшаулау үшін фазаға сезімтал тізбектер қолданылады [12]. Мұндағы фоны бар фазадағы сигнал компоненті абсорбциялық сигнал, ал фаза бойымен $\pi/2$ -ге ығысқан компонент дисперсиялық сигнал деп аталады.

Поляризатордың магнитінің қажетті l_p ұзындығын оның шығысындағы магниттелу векторының M_p жеткілікті мәнін алу шартынан анықтауға болады. Сұйықтың поляризаторға жету уақыты $t = V_n/Q_0$, ал мұндағы $V_n = \frac{\pi d^2 l_p}{4}$ – поляризатор магнитіндегі құбырдың көлемі деп алсақ, онда төмендегідей өрнекті аламыз [13]:

$$M_n = M_k(1 - e^{-m}) \quad (1)$$

мұндағы $m = V_n/Q_0 T_1$.

Егер $m=2$ болса, онда $M_n=0,865M_k$ және $m=3$ кезінде $M_n=0,95M_k$ болады. Демек, M_n магниттелу векторы поляризатордан шыққандағы M_k -ке тең шамасының мүмкін шекті мәнінің 95%-нан кем болмайтындай $V_n \geq 3Q_0 T_1$ немесе $l_n \geq 3vT_1$ теңсіздіктерін қанағаттандыру қажет, v – құбырдағы орташа жылдамдық.

Бұл айтылғандар тек турбулентті ағыс кезінде орынды, ал ламинарлы ағын кезінде v жылдамдығының бірдей мәні бірдей болғандықтан сұйықтың магниттелуі аз болады. Сондықтан v_n және l_n шамаларын анықтау үшін төмендегідей теңсіздік ұсынылады:

$$V_n \geq 4Q_0 T_1 \text{ и } l_n \geq 4vT_1 \quad (2)$$

Бұл өрнектегі Q_{max} өскен сайын l_n ұзындығын ұзарту керек немесе диаметрін ұлғайту керек. Бірақ диаметрі үлкен болса күшті магнит өрісін туындату қиынға соғады, ал магниттің l_n ұзындығын қоса отырып v жылдамдығын арттырғанның өз шегі бар. Сол себепті ядролық магниттік шығын өлшеуіш диаметрі кіші құбырлардағы (әдетте 100–150 мм-ден аспайтын) шығынды өлшеуге ғана жарамды. V_n ағын жылдамдығы берілген мәнде қол жеткізуге болатын ең максимал болатын Q_{max} шығыны келесі өрнекпен беріледі:

$$Q_{max} = \frac{v_n}{mT_1}. \quad (3)$$

Бұл шығынның максимал мәнін m шамасын 1,5–2-ге дейін төмендете отырып M_n магниттелу векторын азайту арқылы арттыруға болады.

Келесі талаптар поляризаторды «резонатормен» байланыстырушы, сұйықтың келіп жету уақыты $t=V_c/Q_0$ болатын құбырдың l_c ұзындығы мен V_c көлеміне қойылады. B_c индукциясы бар шашыраңқы өрісте орналасқан бұл түтіктегі ядролардың деполяризациясын азайту үшін t уақытын азайтуға ұмтылуымыз керек.

M_c магниттелуінің байланыстырушы құбырдың шығысындағы тәуелділігі келесі өрнекпен беріледі:

$$M_c = \chi_0 B_c (1 - e^{-n}) + M_n e^{-n} \quad (4)$$

мұндағы $n = V_c/Q_0 T_1$, χ_0 – статикалық ядролық магниттік сезімталдылығы.

Егер $B_c \ll B_n$ екенін ескеретін болсақ, $M_c \cong M_n e^{-n}$ шамасын аламыз. Онда $n=0,1$ кезінде $M_c = 0,9 M_n$, ал $n=1$ кезінде $M_c = 0,37 M_n$ тең болады.

Байланыстырушы құбырдың шығынын азайтқан сайын ондағы сұйықтың ішінде кідіру t уақыты ұзарады да оның мүмкін болу Q_{min} минимал шығынын мынандай теңдеу арқылы табуға болады:

$$Q_{min} = \frac{V_c}{n T_1} \quad (5)$$

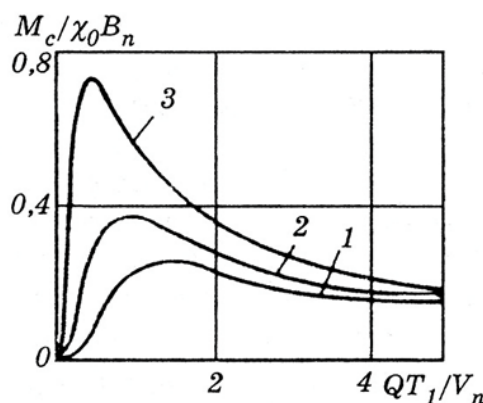
Егер Q_{max} –ды Q_{min} –ға бөлетін болсақ:

$$Q_{max}/Q_{min} = nk/m \quad (6)$$

теңдігін аламыз, мұндағы $k = V_n/V_c$.

Өлшеу диапазонын кеңейту үшін k -ның мәнін арттыру керек, $Q_{max}/Q_{min} = 10$ -ға тең болса, $k = 10n/m$ мәнін аламыз.

M векторының $Q_0 T_1/V_n$ қатынасы мен k шамасына тәуелділігі 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – $M_c = \chi_0 B_n$ магниттелу векторының әр түрлі $k = V_n/V_c$ 1— $k=1$; 2— $k=2$; 3— $k=10$ мәндегі шығынға тәуелділік графигі

k -ның мәнін ұлғайтқан сайын Q_{opt} азая отырып M_{cmax} мәніне жетеді. Q_{opt} шамасын және оған сәйкес M_{cmax} мәнін төмендегідей формуламен анықтауға болады:

$$Q_{onm} = V_n/T_1 \ln(1+k) \quad (7)$$

$$M_{cmax} = \chi_0 B_n k / (1+k)^{(1+k)/k} \quad (8)$$

Q_{onm} шамасымен салыстырғандағы шығынды азайту байланыстырушы құбырдағы сұйықтың деполяризациясының M_c деңгейін төмендетеді, ал ұлғайу – поляризатордағы сұйықтың тұру уақытының қысқаруына байланысты M_c төмендейді.

Q_{omm} шамасымен салыстырғандағы шығынды азайту байланыстырушы құбырдағы сұйықтың деполяризациясының M_c деңгейін төмендетеді, ал ұлғаю – поляризатордағы сұйықтың тұру уақытының қысқаруына байланысты M_c төмендейді.

Нәтижелер мен талқылау

Жоғарыда талданып қарастырылған жүйелі магнит өрісі кернеулігінің мәнін өзгерте отырып, сиыр сүтін сыртынан катушкалар орнатылған құбыр желісінен ағызып өткізгеннен кейін өнімнің сапалық көрсеткіштерінің өзгерісін анықтау мақсатында Алматы технологиялық университетінің «Өндірістік тағамдардың сапасы мен қауіпсіздігін бағалау» зертханасында «Лактан 1–4 М» анализаторын қолдана отырып, эксперименттік талдаулар жасалды. Жасалған талдаулардың хроматограммалары сұйық, газ хроматографиясын және ультракүлгін аймақта көрінетін спектроскопия жүйелерін басқаруға арналған Agilent ChemStation бағдарламалық пакеті арқылы алынды [15]. Төменде ұсынылған 1 және 2-кестелерде магниттік өңдеуден өткен сиыр сүтінің кейбір көрсеткіштеріне тигізген әсері көрсетілген:

Кесте 1 – Магнит өрісінен өңдеуден өтпеген сүттің көрсеткіштері

Майлылығының %-дық шамасы	ҚМҚС-ның %-дық шамасы	тығыздығының шамасы, град/ л	лактозасының шамасы, г/ 100 мл
3,72	8,50	29,26	9,500

Кесте 2 – Магниттік өңдеуден өткізілген сүттің көрсеткіштері

берілген кернеу мәндері, U, В	тұрақты тоқтың мәндері I, А	айымалы тоқтың мәндері, I ₂ , А	Магнит өрісінің индукция векторының мәні, В, Тл	Майлылық, %-бен	ҚМҚС %-бен	тығыздық, град/л	лактоза г/100мл
11,24	8	5,77	8,66	3,96	8,54	29,23	13,740
11,20		5,24		3,87	8,57	29,40	11,479
11,36		5,75		3,93	8,22	29,83	13,215
11,36		5,71		3,91	8,49	29,07	25,683

Сүттің магниттік өңдеуге дейінгі және кейінгі жағдайына байланысты ұсынылған екі кестені салыстырып қарастыратын болсақ, көрсеткіштерінде өзгерістер бар екені байқалады. Мысалы, өңдеуге дейін сүттің құрамында 9, 500 г/100 мл лактоза болса, магнит өрісінің әсерінен кейін 25,683 г/100 мл шамасын құрап тұр. Бұл өзгеріс катушкаға 11,36 В кернеу мен 5,71 А айнымалы ток кезінде туындаған 8,66 Тл магнит өрісінің әсері және т.с.с. [15].

Қорытынды

Демек біз бұл жұмыста өндірілетін өнімнің сапасын анықтауда жоғары дәлдікке ие болғандықтан ЯМР-ды қолдана отырып, сүт сапасын автоматтандырылған басқару жүйесін құрудың тиімді екенін көрсетуге тырыстық [14]. Сонымен қатар катушкалар тудырған магнит өрісі ортаға биологиялық белсенді фактор ретінде де әсер етіп, залалсыздандыру қызметін де атқара алады. Бұл өз кезегінде аталмыш өнімнің ұзағырақ сақталуына ықпалын тигізеді [15]. Сондықтан жоғарыдағы әдісті сүт және сүт өнімдері өнеркәсібімен айналысатын кішігірім орындарда, сондай-ақ, сүт сапасы мен қауіпсіздігін бақылау және бағалау зертханаларында қолдануға болады.

Осы мақсатта сүт сапасының параметрлерін (майдың массалық үлесі, құрғақ майсыздандырылған сүт қалдығының массалық үлесі, тығыздығы, қосылған судың массалық үлесі, салқындау температурасы, ақуыздың массалық үлесі, қышқылдығы және тұтқырлығы) басқару үшін автоматтандырылған басқару жүйесі жасалды (АБЖ) [16, 17, 18].

Эксперименттік зерттеулер жүргізе келе магнит өрісі арқылы өңдеуден өткізу шынымен де сүттің физикалық қасиеттеріне әсерін тигізетіні белгілі болды [15]. Ең көп әсері 16 мТл шамасында қышқылдығына, 11 мТл мәнінде тұтқырлығына ықпал еткені байқалды [19, 20].

ӘДЕБИЕТТЕР

1 Balthazar C.F., Guimarães J.T., Rocha R.S., Pimentel T.C., Neto R.P., Tavares M.B. Nuclear magnetic resonance as an analytical tool for monitoring the quality and authenticity of dairy foods // Trends in Food Science & Technology. – 2021. – Vol. 108. – P. 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.011>

2 Алдибекова А.Н., Воронин А.М., Ким Е.И. К вопросу о магнитной обработке молока // Международная научно-практическая конференция «Безопасность и качество продуктов питания и товаров народного потребления». – Алматы, 2009. – С. 256–259.

3 Алдибекова А.Н., Воронин А.М. Нутационный ЯМР-магнитометр для стабилизации магнитных полей спектрометров : Труды научной конференции молодых ученых. – Алматы, 2010. – С. 86–88.

4 Antequera I., Caballero D., Grassi S., Uttaro B., Perez-Palacios T. Evaluation of fresh meat quality by hyperspectral imaging (hsi), nuclear magnetic resonance (nmr) and magnetic resonance imaging (mri) // A review. meat science. – 2021. – Vol. 172. – P. 108340. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108340>

5 Gan J., Siegel J.B., Bruce Germa J. Molecular annotation of food – Towards personalized diet and precision health // Trends in Food Science & Technology. – 2019. – Vol. 91. – P. 675–680. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.016>.

6 Aitchanov B., Voronin A., Partyka J., Aldibekova A. Automated NMR-relaxometry for control of production and quality // Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska 2014 (IAPGOŚ). – Poland, 2014. – P. 33–35. ISSN 2083-0157.

7 Voronin A.M., Aldibekova A. Application of NMR in technological processes of dairy production // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – Алматы, 2013. – № 4 (50). – С 106–112.

8 Алдибекова А.Н., Воронин А.М. Преобразователи расхода жидкости на основе ЯМР // Труды Национальной инженерной академии Республики Казахстан, Методы экспериментальной физики. – Алматы, 2010. – С. 129–131.

9 Sanchez L.J., Zhu D., Frew R., Kebede B. Optimization of nuclear magnetic resonance and gas chromatography-mass spectrometry-based fingerprinting methods to characterize goat milk powder // Journal of Dairy. – Science, 2021. – Vol. 104. – № 1. – P. 102–111. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18467>.

10 Voronin A.M., Partyka J., Aldibekova A. Formation of Accelerated Particle Beam in Isochronous Cyclotron // ACTA PHYSICA POLONICA. – Poland, 2014 – Vol. 125. – № 6. – P. 1408–1411.

11 Praveen A., Mishra D.P., Nagarajan S., Chaudhari S.R. Facile NMR approach for profiling curcuminoids present in turmeric // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 341. – P. 2128646. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128646>.

12 Айтчанов Б.Х., Баймуратов О.А., Алдибекова А.Н. Системы управления качеством молока с частотно-импульсной модуляцией // Сборник материалов X Международной конференции студентов и молодых ученых «Наука и образование – 2015». – Астана, 2015. – С. 865–870.

13 Aitchanov B., Aitchanova S.K., Baimuratov O.A., Aldibekova A.N. A Simplified Model of the Control System with PFM // XII International Conference on Information Technology and Engineering. – France, 2015. – P. 1465–1468.

14 Айтчанов Б.Х., Баймуратов О.А., Алдибекова А.Н. Сүтті ядролық магниттік резонанс негізінде магнит өрісімен өңдеу арқылы сапалық көрсеткіштерін эксперименттік бағалау // Вестник Алматинского технологического университета. – 2019. – № 3 (124). – С. 59–64.

15 Айтчанов Б.Х., Алдибекова А.Н. Сүт өнімдерінің сапасын арттырудағы автоматтандыру мәселесі / ҚазККА Хабаршысы. – 2016. – № 1 (96) – С. 50–55.

16 Aitchanov B.H., Baimuratov O.A., Aldibekova A.N. Pulse – Frequency control system of the fluids magnetization of the used nuclear magnetic resonance // The 2nd International Virtual Conference on Advanced Scientific Results (SCIECONF–2014). – Slovakia, 2014. – P. 473–477.

17 Старикова А.Ф., Полянская И.С., Носкова В.И., Неронова Е.Ю. Производство функционального творога с применением электромагнитной обработки молока // Молочнохозяйственный вестник. – 2011. – № 3. – С. 36–41.

18 Aitchanov B. Kh., Baimuratov O.A., Aldibekova A. Development of the System with NMR Based on Electromagnetic Coils for Milk Processing // 14th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO). – 2018. – P. 206–212.

19 Айтчанов Б.Х., Алдибекова А.Н. Оценка настроечных параметров частотно-импульсной системы стабилизации напряженности магнитного поля при обработке молока методом ядерного магнитного резонанса // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Технические науки. – 2018. – № 2. – С. 11–16.

20 Айтчанов Б.Х., Алдибекова А.Н., Асхат Г.А. Сүт сапасын басқару мәселесі // Труды II международной конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика». Алматы, 2015. – Т. 2. – С. 10–14.

REFERENCES

1 Balthazar C.F., Guimarães J.T., Rocha R.S., Pimentel T.C., Neto R.P., Tavares M.B. (2021) Nuclear magnetic resonance as an analytical tool for monitoring the quality and authenticity of dairy foods. Trends in Food Science & Technology, vol.108, pp. 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.011>

2 Aldibekova A.N., Voronin A.M., Kim E.I. (2009) К вопросу о магнитной обработке молока. Mejdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya “Bezopasnost’ i kachestvo produktov pitaniya i tovarov narodnogo potrebleniya”, Almaty, pp. 256–259 [in Russian].

3 Aldibekova A.N., Voronin A.M. (2010) Nutacionnyi YAMR-magnitometr dlya stabilizacii magnitnyh polei spektrometrov. Trudy nauchnoi konferencii molodyh uchenyh, Almaty, pp. 86–88 [in Russian].

4 Antequera I., Caballero D., Grassi S., Uttaro B., Perez-Palacios T. (2021) Evaluation of fresh meat quality by hyperspectral imaging (hsi), nuclear magnetic resonance (nmr) and magnetic resonance imaging (mri). A review. meat science, vol. 172, p. 108340. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108340>

5 Gan J., Siegel J.B., Bruce Germa J. (2019) Molecular annotation of food – Towards personalized diet and precision health. Trends in Food Science & Technology, vol. 91, pp. 675–680. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.016>.

6 Aitchanov B., Voronin A., Partyka J., Aldibekova A. (2014) Automated NMR-relaxometry for control of production and quality. Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska 2014 (IAPGOŚ), Poland, pp. 33–35. ISSN 2083-0157.

7 Voronin A.M., Aldibekova A. (2013) Application of NMR in technological processes of dairy production. Vestnik Nacional’noi inženernoi akademii Respubliki Kazahstan, Almaty, no. 4 (50), pp. 106–112.

8 Aldibekova A.N., Voronin A.M. (2010) Preobrazovateli rashoda jidkosti na osnove YAMR. Trudy Nacional’noi inženernoi akademii Respubliki Kazahstan, Metody eksperimental’noi fiziki, Almaty, pp. 129–131 [in Russian].

9 Sanchez L.J., Zhu D., Frew R., Kebede B. (2021) Optimization of nuclear magnetic resonance and gas chromatography-mass spectrometry-based fingerprinting methods to characterize goat milk powder. Journal of Dairy, Science, vol. 104, no. 1. pp. 102–111. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18467>.

10 Voronin A.M., Partyka J., Aldibekova A. (2014) Formation of Accelerated Particle Beam in Isochronous Cyclotron. ACTA PHYSICA POLONICA, Poland, vol.125, no. 6, pp. 1408–1411.

11 Praveen A., Mishra D.P., Nagarajan S., Chaudhari S.R. (2021) Facile NMR approach for profiling curcuminoids present in turmeric. Food Chemistry, vol. 341, p. 2128646. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128646>.

12 Aitchanov B.H., Baimuratov O.A., Aldibekova A.N. (2015) Sistemy upravleniya kachestvom moloka s chastotno-impul'snoi modulyaciei. Sbornik materialov X mejdunarodnoi konferencii studentov i molodyh uchenyh "Nauka i obrazovaniya-2015", Astana, pp. 865–870 [in Russian].

13 Aitchanov B., Aitchanova S.K., Baimuratov O.A., Aldibekova A.N. (2015) A Simplified Model of the Control System with PFM. XII International Conference on Information Technology and Engineering, France, pp. 1465–1468.

14 Aitchanov B.H., Baimuratov O.A., Aldibekova A.N. (2019) Sytti yadrolyk magnittik rezonans negizinde magnit őrisimen őrdeu arkyly sapalyk kersetkishterin eksperimenttik baralau. Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta, no. 3 (124), pp. 59–64 [in Russian].

15 Aitchanov B.H., Aldibekova A.N. (2016) Sūt őrnımderinıń sapasyn arttyrudağy avtomattandyru mäseseı. QazKKA Habarşysy, no. 1 (96), pp. 50–55 [in Kazakh].

16 Aitchanov B.H., Baimuratov O.A., Aldibekova A.N. (2014) Pulse – Frequency control system of the fluids magnetization of the used nuclear magnetic resonance. The 2nd International Virtual Conference on Advanced Scientific Results (SCIECONF-2014), Slovakia, pp. 473–477.

17 Starikova A.F., Polyanskaya I.S., Noskova V.I., Neronova E.YU. (2011) Proizvodstvo funktsional'nogo tvoroga s primeneniem elektromagnitnoi obrabotki moloka. Molochnohozyaistvennyi vestnik, no. 3, pp. 36–41 [in Russian].

18 Aitchanov B. Kh, Baimuratov O.A., Aldibekova A. (2018) Development of the System with NMR Based on Electromagnetic Coils for Milk Processing. 14th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO), pp. 206–212.

19 Aitchanov B.H., Aldibekova A.N. (2018) Ocenka nastroechnykh parametrov chastotno-impul'snoi sistemy stabilizatsii napryazhennosti magnitnogo polya pri obrabotke moloka metodom yadernogo magnitnogo rezonansa. Mejdunarodnyi jurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniı. Tehnicheskie nauki, no. 2, pp. 11–16 [in Russian].

20 Aitchanov B.H., Aldibekova A.N., Ashat G.A. (2015) Syt sapasyn baskaru mäseseı. Trudy II mejdunarodnoi konferencii "Informacionnye i telekommunikacionnye tehnologii: obrazovanie, nauka, praktika", Almaty, vol. 2, pp. 10–14 [in Russian].

¹Aldibekova A.N.,

master, ORCID ID: 0000-0003-4736-6686,

e-mail: aitkul.aldebekova@gmail.com

¹Almaty Technological University, Almaty, 050012, Kazakhstan

TECHNOLOGY FOR CONTROL AND MANAGEMENT OF MILK QUALITY USING MAGNETIC FIELD

Abstract

In production, various methods are used to control the quality of manufactured products due to physical and chemical effects. In recent years, the principle of the phenomenon of nuclear magnetic resonance (NMR) has been increasingly used in the management and control of technological processes in food production. This paper examines the possibility of using the phenomenon of nuclear magnetic resonance for the purpose of automated control of milk quality by a magnetic field. By studying the isotopes of the NMR spectra of the specified product, it is possible to determine whether the product is natural or artificial, that is, its cost and quality. This work also provides a block diagram of the technological process and explains the expressions for receiving NMR signals and processing them with the creation of a magnetic field using electromagnets in an automated control system. This method allows not only to control the process, but also to determine the physical properties of milk and dairy products, contributing to changes in quality. To do this, it is necessary to maintain the optimal value of the generated magnetic field with very high accuracy.

Key words: magnetic field, milk quality control, nuclear magnetic resonance, automation and control.

¹Алдибекова А.Н.,
магистр, ORCID ID: 0000-0003-4736-6686,
e-mail: aitkul.aldibekova@gmail.com

¹Алматинский технологический университет, г. Алматы, 050012, Казахстан

ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МОЛОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация

В производстве используются различные методы контроля качества производимой продукции за счет физического и химического воздействия. В последние годы все шире используется принцип явления ядерного магнитного резонанса (ЯМР) при управлении и контроле технологических процессов при производстве продуктов питания. В данной работе рассмотрены возможности применения явления ядерного магнитного резонанса с целью автоматизированного управления качеством молока магнитным полем. Изучая изотопы спектров ЯМР указанного продукта, можно определить, является ли продукт натуральным или искусственным, то есть его себестоимость и качество. Также в данной работе приведена структурная схема технологического процесса, даны объяснения выражений приема сигналов ЯМР и его обработки с созданием магнитного поля с помощью электромагнитов в автоматизированной системе управления. Данный метод позволяет не только контролировать процесс, но и определять физические свойства молока и молочных продуктов, способствуя изменению качества. Для этого необходимо поддерживать оптимальное значение создаваемого магнитного поля с очень высокой точностью.

Ключевые слова: магнитное поле, контроль качества молока, ядерный магнитный резонанс, автоматизация и управление.