

VYUŽITÍ UMĚLÉ INTELIGENCE PRO ZVÝŠENÍ PRODUKTIVITY SCEZOVACÍHO PROCESU

Část 2. Neuronové sítě, jejich využití pro řízení scezovacího procesu a dosažené výsledky

HANS-JÖRG MENDER, GERHARD LILICH, FRANZ MIROLL, Ziemann GmbH, Ludwigsburg, SRN
Dr. NORBERT WAGNER, Dortmund, SRN

Klíčová slova: automatizace, scezovací kád, scezování a vyslazování, umělá inteligence

1 APLIKACE RŮZNÝCH ÚROVNÍ SÍTĚ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU NEURO

V první části tohoto příspěvku (Kvasný průmysl 12/2000) byly popsány hlavní principy umělé neuronové sítě (UNS), která byla vyvinuta ve spolupráci firmy A. Ziemann GmbH a Technické univerzity v Heilbronnu. Byly uvedeny způsoby aplikace umělé neuronové sítě pro řízení a optimalizaci procesu scezování a vyslazování při různých režimech provozu scezovací kádě. V druhé části tohoto příspěvku jsou popsány reálné výsledky, dosažené ve dvou velkých pivovarech.

Řízení tohoto procesu začíná jako vždy scezováním předku po klasickém „podrážení“ (obr. 1). Řídicí systém Neuro vypočítá správnou hodnotu průtoku scezovaného předku na základě zadaných parametrů zařízení, kvality použitého sladu a požadovaných parametrů (čistoty). Souběžně se snižuje i poloha kypřicího zařízení až na předem stanovenou hranici (kypřicí zařízení se však při tomto pohybu neotáčí). Průběh scezování předku řídicí systém Neuro kontroluje pomocí scezovacího čerpadla v závis-

losti na hodnotě podtlaku v sací větvi čerpadla a okamžitém množství stékajícího předku. Zákonitě dochází k tomu, že se hodnota podtlaku zvyšuje a množství stékajícího předku snižuje; po dosažení předem nastaveného kritického poměru hodnota podtlaku/objem stékajícího předku dá řídicí systém Neuro pokyn k proříznutí vrstvy mláta s případným následným odpočinkem a podrážením.

Úroveň sítě 1

Úroveň 1 je aktivní v případě, jestliže průběh podtlaku v sací větvi scezovacího čerpadla umožňuje změnu průtokového množství stékajícího předku, tj. jeho zvýšení nebo snížení. Kladnou nebo zápornou změnu okamžitého průtoku předku určí řídicí systém Neuro na základě vyhodnocení vstupních parametrů úrovně sítě 1 současně se statistickým vyhodnocením průběhu předcházejících várek. Mezi vstupní parametry úrovně sítě 1 patří okamžitá hodnota podtlaku v sací větvi scezovacího čerpadla, průběh hodnot podtlaku (tendence se zvyšovat nebo snižovat) a objem scezeného předku.

Technologické cíle úrovně sítě 1 jsou následující:

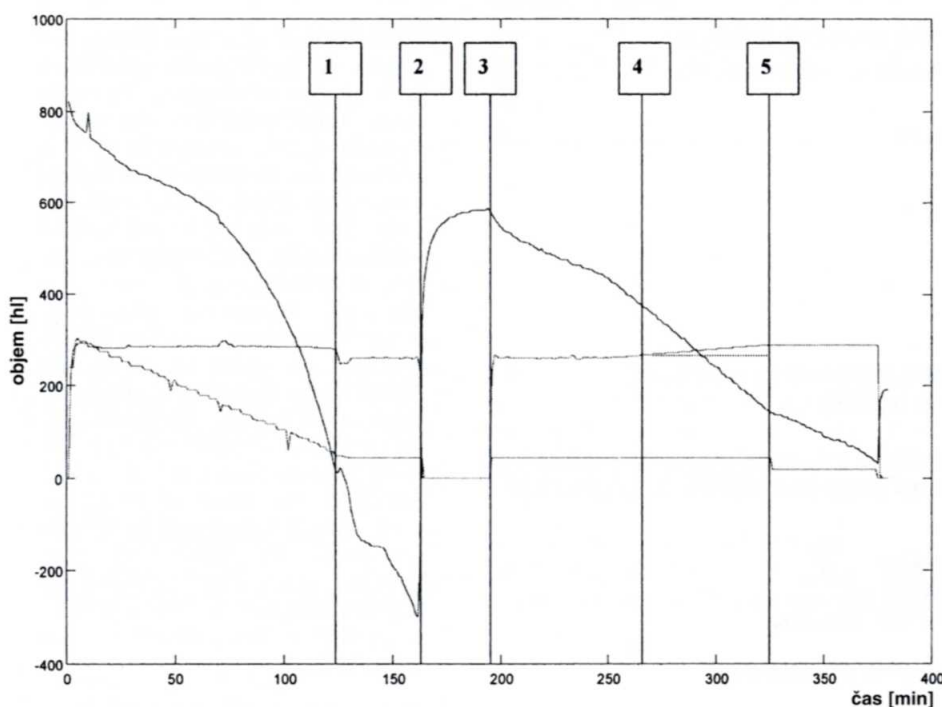
a) nepřesáhnout hodnotu prognostického podtlaku, přičemž termínem prognostický podtlak je rozuměn takový podtlak, který je dosažen na konci procesu scezování předku, aniž by bylo nutno změnit hodnotu průtoku scezování předku nebo použít kypřicího zařízení,

b) daný objem předku/slادiny, který se získá až do doby dosažení následující úrovně sítě řídicího systému Neuro,

c) daný objem podtlaku, který není během scezování překročen až do doby dosažení další úrovně sítě řídicího systému Neuro.

Úroveň sítě 2

Technologickým cílem úrovně sítě 2 je – pokud to dovolí naměřené a systémem Neuro vyhodnocené parametry – lineární zvýšení objemového průtoku scezované sladiny. Úroveň sítě 2 začne působit v okamžiku, kdy se dosáhlo požadovaného objemu separované sladiny v mladinové pávně a/nebo vypršela doba, která byla na začátku naprogramována jako časová základna pro působení úrovně sítě 1. Zkrácení doby nutné pro scezování předku při jeho nezměněné kvalitě zůstává hlavním cílem této operace. Matematické výpočty řídicího systému Neuro mají za úkol, aby vypočtený průběh hodnot podtlaku na sací větvi scezovacího čerpadla byl menší nebo maximálně se rovnal skutečnému průběhu podtlaku, indikovanému vakuometrem, instalovaným na sací větvi scezovací trubky. Přeneseno do praktického řízení procesu to znamená, že pokud teoretickým výpočtem prognostikovaná hodnota podtlaku bude menší nebo maximálně shodná se skutečně naměřenou hodnotou podtlaku na konci scezování předku, bude pro další cyklus řídicí systém Neuro zvýšen průtok scezované sladiny, jinak řečeno přímka znázorňující závislost objemového průtoku scezované sladiny na čase [hl/h] bude mít stoupání s úhlem α . Jako vstupní parametry pro úroveň sítě 2 slouží hodnota scezené sladiny, průběh hodnoty podtlaku, okamžitá hodnota scezené sladiny a okamžitá hodnota podtlaku. Hlavním účelem úrovně řízení sítě 2 je tedy minimalizace doby scezování při zachování požadované čistoty separované sladiny, aniž by bylo nutné používat kypřicí zařízení.



Obr. 1 Znázornění řídicího systému Neuro při stahování předku

1 – úroveň sítě 1: regulátor scezovacího čerpadla (řízení průtoku), 2 – start prořezávání mláta, 3 – konec prořezávání, 4 – úroveň sítě 2, limitní hodnota výšky kypřicího stroje, 5 – regulátor kypřicího stroje

zákal [j.EBC]

průběh tlaku
na sání čerpadla
[mm vodního sloupce]

průběh objemového průtoku
[hl/h]

objemový průtok [hl]

neuronová síť

výška nožů
kypřicího stroje
nad scezovacím
dnem [mm]

Obr. 2 Vstupní a výstupní veličiny úrovně sítě 3

Úroveň sítě 3

Úroveň sítě 3 (obr. 2) začíná pracovat s kypřicím zařízením a ruší předchozí proces řízeného zvyšování průtoku scezované sladiny z úrovně sítě 2. Akčním kritériem pro vstup úrovně sítě 3 je překročení nebo nedodržení definované hodnoty podtlaku v sací větvi sladinového čerpadla. Jinými slovy úroveň sítě 3 začíná být aktivní, pokud výpočty hodnoty podtlaku jsou výrazně odlišné od skutečně naměřených hodnot na sací větvi sladinového čerpadla a pro jejich korekci by bylo nutné použití kypřicího zařízení, avšak bez hlubokého prořezu vrstvy mláta. To znamená, že hlavním technologickým cílem úrovně sítě 3 řídicího systému Neuro je získání celého objemu předku při práci kypřicího stroje, aniž by však bylo nutné používat hluboký

prořez mláta. Práce kypřicího stroje je řídicím systémem Neuro regulována s ohledem na dříve zadané hodnoty požadované čírosti scezované sladiny.

2 ŘÍZENÍ PROCESU SCEZOVÁNÍ A VYSLAZOVÁNÍ PŘI PROMĚNNÝCH KVALITÁCH SLADU

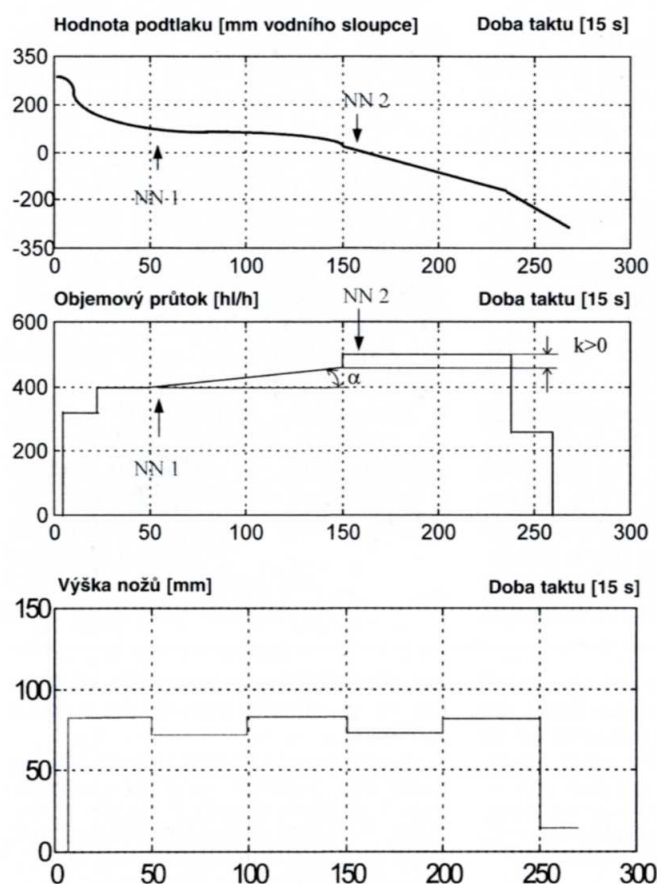
Při dobré kvalitě sladu je průběh hodnoty podtlaku na sací větvi sladinového čerpadla téměř stále nepřímo úměrný velikosti objemového průtoku scezované sladiny (obr. 3a). Důsledkem téměř bezproblémového průběhu hodnoty podtlaku řídicí systém Neuro respektive řídicí parametr z úrovně sítě 1 (NN 1) zjistí pouze nepatrné stlačení vrstvy mláta a další průběh scezovacího a vyslazovacího pro-

cesu může nadále probíhat se zvýšenou hodnotou průtoku sladiny. Řídicí systém zvyšuje regulaci otáček sladinového čerpadla průtočný objem scezované sladiny, což se na grafu projeví úsečkou s úhlem stoupání α (obr. 3a). Maximální hodnota úhlu je limitována a tuto nejvyšší hodnotu je nutno stanovit pro každou scezovací kád zvlášť. Konec této úsečky znamená též konec působení úrovně sítě 2 (NN 2). Vzhledem k dobrému průběhu scezovacího a vyslazovacího procesu není v tomto úseku nutný žádný zásah řízení z úrovně sítě 3 (NN 3), kterým by se změnila poloha nožů kypřicího zařízení.

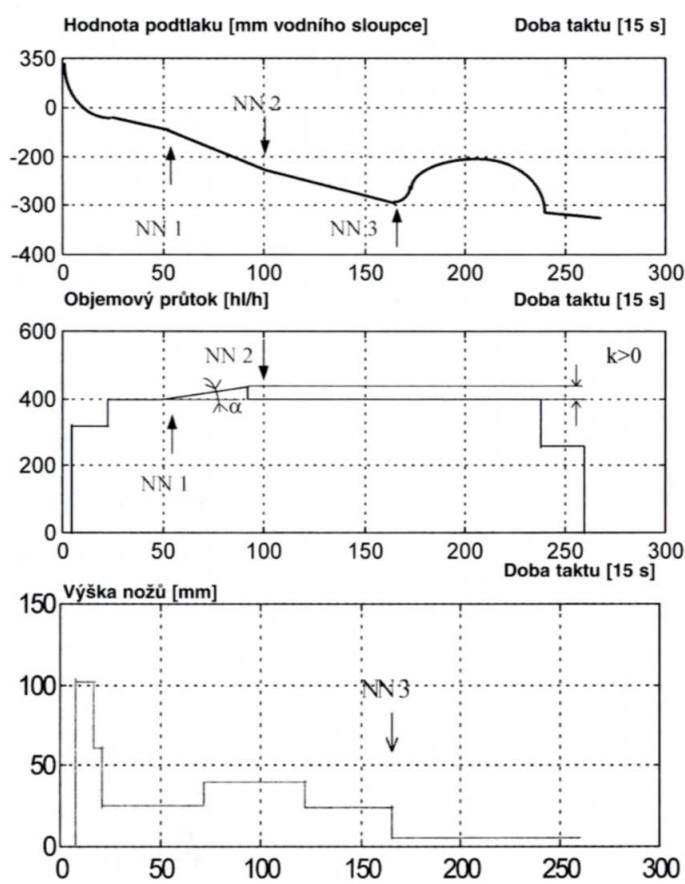
Na obr. 3b je znázorněn průběh scezovacího a vyslazovacího procesu, kdy byl svařován slad horší kvality. Po strmém poklesu průběhu podtlaku na sací větvi scezovacího čerpadla, který probíhal souběžně se stoupajícím průtokem scezované sladiny po zásahu úrovně sítě 2. Hodnota podtlaku se stále zvyšovala při konstantním objemovém průtoku, až byl nutný zásah úrovně sítě 3 (snížení nožů kypřicího stroje). Během průběhu procesu již řídicí systém Neuro analyzoval naměřené hodnoty, které si vyžádaly zásah a změnu parametru.

3 POPIS ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

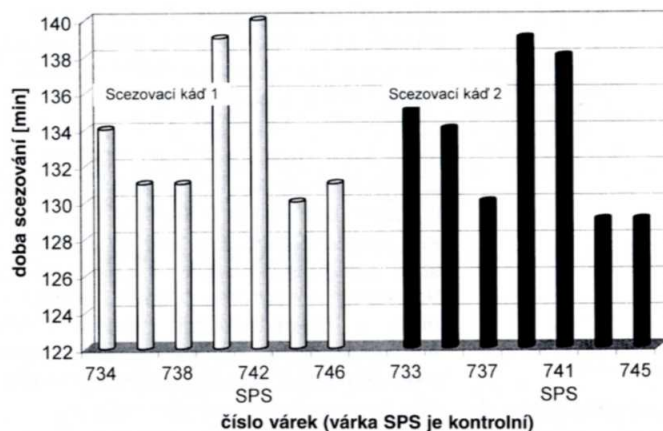
Řídicí systém Neuro byl nejdříve instalován na dvou scezovacích kádích



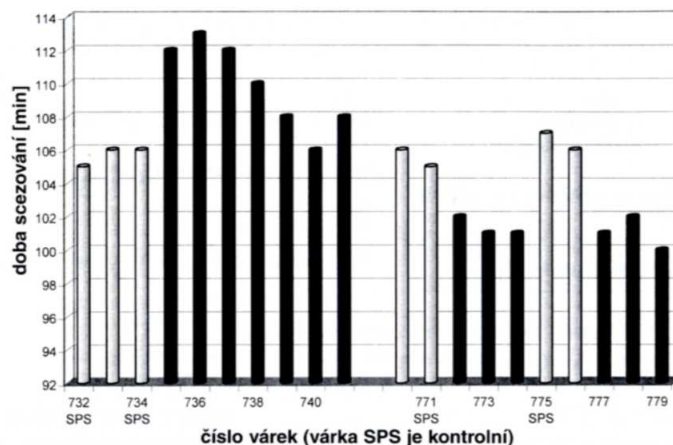
Obr. 3a Chování řídicího systému Neuro při velmi dobré kvalitě sladu (regulace pouze průtoku sladiny)



Obr. 3b Chování řídicího systému Neuro při špatné kvalitě sladu (objemový průtok a práce kypřicího zařízení)



Obr. 4 Znáznornění docílených časů doby scezování po „fázi zaučení“ systému Neuro



Obr. 5 Skutečné doby scezování po zavedení řídicího systému Neuro a po „fázi zaučení“

v pivovaru společnosti Dortmunder Brau Union GmbH. Obě scezovací kádě mají shodný průměr 8,6 m a byly výrobcem projektovány na kapacitu sedm várek denně. Před instalací popisovaného řídicího systému Neuro se pohybovala doba scezování sladiny kolem 140 minut.

Jak je patrné z obr. 4, použitím řídicího systému Neuro se doba scezování zkrátila na 130 minut, což při sedmi várkách denně představuje úsporu 70 minut, a to znamená denně zisk navíc půl várky. Pro dosažení těchto výsledků potřeboval řídicí systém Neuro „dobu učení“ asi třicet várek, což představuje asi čtyři pracovní dny.

Při porovnání získaných dob scezování, znázorněných na obr. 4, je patrná dobrá shoda všech naměřených dob trvání scezovacího procesu. Jak již bylo dříve uvedeno, doba trvání scezovacího procesu řízeného systémem Neuro se u všech várek zkrátila přibližně o stejnou dobu, tj. asi 10 minut.

Další nezanedbatelný rozdíl mezi procesem scezování sladiny řízeným klasicky a systémem Neuro byl patrný v průběhu hodnot čirosti separované sladin. Čirosti sladin, získávaných z várek řízených systémem Neuro, byly zpravidla o pět jednotek EBC lepší než u sladin, získávaných pomocí klasického řídicího systému SPS.

Příznivě ve prospěch řídicího systému Neuro vyzněl též rozbor mláta z obou porovnávaných systémů, výtěžky ze scezovacích kádí řízených tímto

systémem byly stejné nebo o něco lepší, třebaže doby trvání scezovacího procesu byly, jak již bylo dříve uvedeno, asi o deset minut kratší.

Na obr. 5 jsou uvedeny výsledky z dalšího pivovaru v Plzni, získané na scezovací kádě systémem Neuro během a po „zaučení“. Použitá scezovací kádě měla průměr 11 m a byla vyprojektována na výkon deset várek denně.

Číslo várek 732 SPS, 733 SPS, 770 SPS, 771 SPS, 775 SPS a 776 SPS představují opět várky, řízené dosavadním klasickým systémem řízení SPS. Várky vedené pod čísly 735 až 741 proběhly v době, kdy se systém Neuro teprve „zaučoval“. Z grafu je patrné, že se systém Neuro „učil“ pomalu, doby trvání scezovacího procesu byly dokonce podstatně delší než várky řízené klasickým systémem SPS. Po proběhnutí asi třiceti várek, což odpovídalo asi třem výrobním dnům, bylo možno konstatovat, že se systém „zaučil“, protože se doby následujících várek (číslo 772 – 774 a 777 – 779) podstatně zkrátily a byly zpravidla o tři až čtyři minuty kratší než srovnávací várky, provedené ve stejném období.

Vyhodnocení výsledků získaných v druhém pivovaru potvrdilo předběžný předpoklad, že systém Neuro opět zkrátí dobu trvání scezovacího procesu. Zkrátila se až o čtyři minuty, což při deseti várkách denně odpovídá časové úspoře 30 až 40 minut. Tato úspora představuje týdně zisk až dvou várek navíc bez jakýchkoliv stavebních úprav. Co se týče varních výtěžků a čirosti získané sladin,

potvrdily se také v druhém pivovaru výsledky z Dortmundu. Čirosti a výtěžky byly stejné nebo nepatrně lepší než u srovnávacích várek.

Instalace řídicího systému v obou pivovarech nepředstavovala žádný technický ani technologický problém. Aplikace dalšího řídicího systému souběžně se stávajícím systémem SPS navíc znamenala zvýšení provozní spolehlivosti daného strojního zařízení. Během zkoušek systému Neuro byla několikrát simulována jeho „porucha“ a jeho funkci převzal řídicí systém SPS, který scezovací proces bez jakéhokoli problému dovedl do konce.

Výhodné je používání systému Neuro zejména v případech, kdy se svařují slady horší kvality, neboť na proměnné parametry scezovacího procesu reaguje systém Neuro velmi pohotově a s velmi dobrými výsledky. Provedené zkoušky prokázaly, že už po dvou nebo třech várkách, kdy se svařoval slad s horší kvalitou, řídicí systém Neuro dovedl proces scezování v krátkém čase a s dobrým výsledkem do konce. Srovnání doby scezovacího procesu při použití systému Neuro a klasického systému SPS vyznělo zejména v případě používání surovin s proměnlivou kvalitou jednoznačně ve prospěch nového „inteligentního“ systému, který má potřebnou flexibilitu a rychlost pro přijímání potřebných rozhodnutí při vedení scezovacího procesu.

Přeložil a lektoroval
Ing. Ladislav Chládek, CSc.
Do redakce došlo 1. 11. 2000

Miroll, F. – Menger, H.-J. – Lillich, G. – Blesing, P. – Wagner, N.: Využití umělé inteligence pro zvýšení produktivity scezovacího procesu. Kvasny Prum. 46, 2000, č. 12, s. 347–349 a 47, 2001, č. 1, s. 4–7.

Firma Ziemann a Technická univerzita Heilbronn/Německo vyvinuly řídicí systém Neuro-Fuzzy-Controller pro kontrolu procesu scezování a vyslazování, který umožňuje získat optimální výsledky i při kolísavé kvalitě vstupních surovin. Tento řídicí systém průběžným vyhodnocováním získávaných para-

metrů a jejich následnou regulací podstatně zkracuje dobu trvání procesu při zachování čirosti. Aplikací tohoto řídicího systému lze podstatně zvýšit počet cyklů scezovací kádě. Další předností řídicího systému Neuro-Fuzzy-Controller je jeho velmi snadná integrace do stávajících řídicích systémů scezovacích kádí bez dalších stavebních investic.

Miroll, F. – Menger, H.-J. – Lillich, G. – Blesing, P. – Wagner, N.: Using of Artificial Intelligence for Improving of Lautering Pro-

cess Productivity. Kvasny Prum. 46, 2000, No. 12, p. 347–349 and 47, 2001, No. 1, p. 4–7.

For control of lautering process firm Ziemann and Technical University Heilbronn have developed a control system Neuro-Fuzzy-Controller, that enables to obtain very good results even under using raw stuffs of different qualities. Control system Neuro-Fuzzy-Controller continuously evaluates reached parameters, due to theirs following optimisation is possible to keep desired quality

of wort's purity to reduce a time of lautering process and to increase a number of lautering cycles. Next advantage is a very easy assembly to the existing control systems of lauter tun without any additional costs.

Miroll, F. – Menger, H.-J. – Lillich, G. – Blessing, P. – Wagner, N.: Einsatz künstlicher neuronaler Netze zur Effizienzsteigerung am Läuterbottich. Kvasny Prum. 46, 2000, Nr. 12, S. 347–349 und 47, 2001, Nr. 1, S. 4–7.

Der von der A. Ziemann GmbH in Zusammenarbeit mit der FH Heilbronn entwickelte Neuro-Fuzzy-Controller ermöglicht Produktionsengpässe, die durch schwankende Rohstoffqualitäten im Bereich des Läuterbottichs entstehen können zu vermeiden. Durch eine permanente Optimierung des Läuterprozesses gewährleistet der

Neuro-Fuzzy-Controller extrem günstige Abläuterzeiten und somit eine Steigerung der Sudhauskapazität unter Berücksichtigung der von der Brauerei geforderten Würzequalität. Da wie unter 3 beschrieben der Neuro-Controller sehr einfach in das Prozeßleitsystem zu integrieren ist, wird eine Steigerung der Sudhauskapazität ohne aufwendige bauliche Maßnahmen erzielt.

Миролл, Ф. – Менгер, Г. Й. – Лиллих, Г. – Блессинг, П. – Вагнер, Н.: Использование искусственного интеллекта с целью повышения производительности процесса фильтрации неохмеленного сусла. Kvasny Prum. 46, 2000, № 12, стр. 347–349, 47, 2001, № 1, стр. 4–7.

Фирма Ziemann в сотрудничестве с Техническим университетом в г. Heilb-

ronn (Германия) разработала систему управления Neuro-fuzzy-Controller, предназначенную для контроля процесса фильтрации и выщелачивания неохмеленного сусла. Система позволяет получить оптимальные результаты даже при колеблющихся величинах исходного сырья. Путем непрерывной оценки получаемых параметров и их последующей регуляцией система существенным образом сокращает время продолжения процесса при соблюдении прозрачности пива. Использование системы можно значительно повысить количество циклов фильтрационного чана. Преимущество системы представляет очень простое интегрирование в существующую систему управления фильтрационными чанами без дополнительных расходов на строительство.