

Aspekty operační dopravy lahví jako předpoklad plynulého provozu lahvárenských linek

683.5:621.86.008

Ing. ANTONÍN KRATOCHVÍLE, Jihočeské pivovary, n. p., České Budějovice

Upravené a doplněné sdělení, přednesené na XVI. Pivovarsko-sladařském semináři v Plzni v prosinci 1973

Plynulý a racionální provoz lahvárenské linky, nesporný cíl snažení každého provozního technika, je možný pouze při dosažení a udržení určité úrovně dynamické rovnováhy složité soustavy, kterou tvoří strojní zařízení linky, zpracovávaný materiál a obsluha. Se stoupajícím hodinovým výkonem lahvárenských linek se zvyšují požadavky na dynamickou rovnováhu provozu. Tato rovnováha se obtížněji udržuje a její porušení vyvolává absolutně větší ztráty než u linek s nízkým výkonem.

Strojní zařízení a obsluha tvoří v této soustavě faktor aktivní, zpracovávaný materiál faktor pasivní. Vyloučili bychom-li předem základní nedostatky, které mohou rovnováhu soustavy prakticky vyloučit — nevhodně volené stroje, nevhodný materiál, nezpracovaná obsluha apod. — přesto nemůžeme vyloučit případy narušení rovnováhy soustavy drobnými poruchami a nepravidelnostmi v přísunu zpracovávaného materiálu. Úkol obnovit opět plynulý provoz má obsluha linky. Přesto nutno poukázat na to, že obsluha není vždy schopna rovnováhu soustavy bezprostředně obnovit a udržovat ji trvale na optimální úrovni.

Proto vystupuje do popředí důležitosti část strojního zařízení linky, která za určitých předpokladů tuto schopnost má. Tuto část strojního zařízení představuje systém dopravníků, který spojuje jednotlivé stroje.

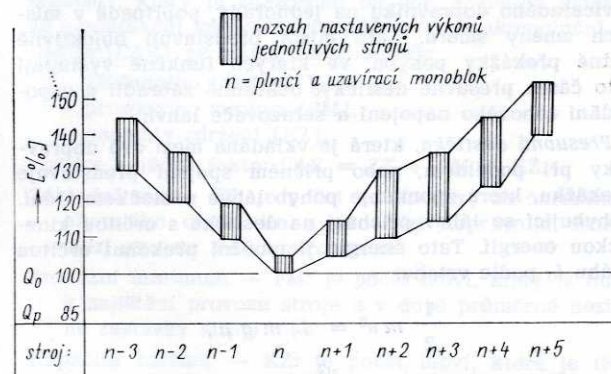
Za provozu, i na lince, která splňuje základní předpoklady pro plynulý provoz, tj. kvalitní a vhodně dimenzované stroje, kvalifikovanou obsluhu a vhodný zpracovávaný materiál, nemůžeme vyloučit drobné a krátkodobé poruchy a přestávky na různých místech linky.

Příčiny drobných a krátkodobých poruch a přestávek jsou velmi různorodé a jejich nebezpečí je v tom, že je prakticky nelze odstranit a že jejich četnost je zpravidla vysoká. Proto v souhrnu trvale snižují výkon linky.

Naproti tomu větší a delší poruchy strojního zařízení, pokud se provádí kvalifikovaná a pravidelná údržba a roční revize formou SO nebo GO, nejsou příliš časté. Lze snadno dokázat, že z hlediska těchto větších poruch celková ztráta výkonu za delší období (např. rok), není tak závažná jako trvalé snížení skutečného výkonu.

Bylo již uvedeno, že jednou z důležitých podmínek je vhodně dimenzovaný výkon jednotlivých strojů. Celkový výkon linky se odvozuje od tzv. limitujícího stroje, kterým je uzančně zpravidla plnicí a uzavírací monoblok. Výkon, na který má být monoblok nastaven, má být vyšší, nebo alespoň rovný jmenovitému výkonu linky. Připomeňme zásadu, že předpokladem k dosažení vysoké úrovně dynamické rovnováhy je, aby nastavený výkon jednotlivých strojů před monoblokem a za ním byl odstupňovaně vyšší proti výkonu monobloku. Schematicky je tato zásada znázorněna na obr. 1. Hodnota zvýšení výkonu jednotlivých strojů je vyšší u složitých linek zpra-

covávajících různé druhy materiálu než u jednoduché linky pro plnění jednoho druhu lahví. V dalším uvidíme, že zvýšené nastavené výkony jednotlivých strojů mají vzájemnou vazbu a bylo by mylné se domnívat, že pouze tím, čím vyšší výkony nastavíme, tím lepších výsledků dosáhneme.



Obr. 1. Rozsah nastavených výkonů jednotlivých strojů lahvárenské linky v % jmenovitého výkonu linky Q_0 , Q_p — praktický výkon 85 % jmenovitého výkonu

Důležité aspekty, kterým je třeba věnovat pozornost z hlediska soustavy dopravníků lahví, jsou zejména tyto:

- rychlost dopravníků,
- modulace rychlosti,
- překážky pohybu lahví,
- regulační schopnost.

Rychlost dopravníků lahví, které spojují jednotlivé stroje linky, nebo přesněji rychlost pohybujících se lahví, ovlivňuje jejich chování. Poruchy a přestávky provozu linky přerušují pohyb, láhev musí překonávat překážky pohybu. Jakmile je láhev uváděna z klidu do pohybu, nebo naopak z pohybu do klidu, působí na její stabilitu setrvačnost. Podle obecných zákonů fyziky je zřejmé, že láhev padne na bok, jakmile setrvačná síla vychýlí její těžiště mimo podstavu.

Matematicky lze odvodit, že maximální možná změna rychlosti pohybu láhve, tzv. mezní rychlost, je funkcí druhé odmocniny výšky těžiště láhve a průměru láhve, přesněji průměru dosedací plochy láhve.

Jako orientační hodnotu mezní rychlosti vodorovných částí dopravníků je možno, pro běžné druhy a nás používaných lahví, uvažovat rychlost dopravníků lahví v rozmezí 15 až 25 m/min. S touto rychlostí jednoduchého dopravníku jsme vystačili u linek malých výkonů. U středních a vysokých výkonů je nutno dopravníky rozšiřovat.

Modulace rychlosti. I když je možno většinu dopravních úseků u linek středních a vysokých výkonů rozšířit, a tak i vysoký počet lahví dopravovat při nízké rychlosti, nevyhne se místům, kde láhve musejí procházet jednotlivě — vstup do monobloku, etiketovačky apod. — a v těchto místech musíme připustit vyšší rychlost pohybu lahví. Například při výkonu linky 36 000 lahví/h je rychlost na vstupu do monobloku 50 až 60 m/min. Aby byla dosažena uvedená zásada mezní rychlosti, tj. aby změna rychlosti pohybu lahví nepůsobila negativně na stabilitu lahví, je nutno rychlost lahví modulovat, tj. měnit rychlost postupně ve vztahu k původní rychlosti. Jako orientační praktická hodnota pro možnou změnu rychlosti je v literatuře uváděn koeficient $k = \sqrt{2}$ až $\sqrt{3}$.

Například při změně rychlosti dopravníku z rychlosti V_1 na V_2 to znamená dodržet při zvyšování rychlosti vztah:

$$V_2 = V_1 \cdot \sqrt{2} \text{ až } V_1 \cdot \sqrt{3} \text{ a při snižování rychlosti}$$

$$V_2 = V_1 : \sqrt{2} \text{ až } V_1 : \sqrt{3}.$$

Překážky pohybu lahví

V celém systému dopravníků lahví se objektivně vyskytují místa návaznosti dvou samostatných dílčích dopravníků, zejména v místech prodloužení trasy, přechodu z víceřadého dopravníku na jednořadý, popřípadě v místech změny směru. Tato místa představují objektivně nutné překážky pohybu, ve kterých funkčně vystupují tyto části: přesuvné destičky, ochranné zábradlí a uspořádání rohového napojení a seřazovače lahví.

Přesuvná destička, která je vkládána mezi dva dopravníky při podélném, nebo příčném spojení představuje překážku, která zpomaluje pohyb láhve následkem tření. Pohybující se láhev přichází na destičku s určitou kinetickou energií. Tato energie jí umožní překonat určitou dráhu L_i podle vztahu:

$$\frac{1}{2} m v^2 = L_i m g \mu,$$

$$\text{ze kterého plyne } L_i = \frac{v^2}{2g\mu}$$

kde L_i = dráha, kterou překoná láhev vlivem kinetické energie $\frac{1}{2} m v^2$,

m je hmotnost láhve,
 v — rychlost láhve,
 μ — koeficient tření,
 g — tíhové zrychlení.

Z druhé rovnice, kterou s jistým zjednodušením můžeme daný případ vyjádřit, vidíme, že ve vztahu se neuplatňuje hmotnost m , a protože rychlost v má jistá omezení, má výrazný význam hodnota koeficientu tření μ . Z toho vyplývá, že v provozu se musíme snažit dosáhnout a udržovat koeficient tření μ pokud možno nízký a skutečnou délku přesuvné destičky L_s přiblížit délce L_i . S jistým zjednodušením můžeme počítat, že při rychlosti $v = 20$ m/min a koeficientu tření v rozmezí 0,1–0,2 láhev překoná vzdálenost $L_i = 22$ až 46 mm. Je-li skutečná délka přesuvné destičky L_s větší než L_i , je nutno sdružovat energii dalších lahví. Přibližně je možno počítat, že pro překonání vzdálenosti

60 až 70 mm je třeba energie 3 až 4 lahví
100 až 120 mm 6 až 8 lahví.

To pochopitelně zvyšuje hluk následkem vzájemných nárazů jednotlivých lahví.

Koeficient tření μ má podle literárních pramenů [2] tyto hodnoty:

suchá nerezavějící ocel	: sklo	0,25–0,30
mokrý nerezavějící ocel	: sklo	0,20–0,25
mazaná nerezavějící ocel	: sklo	0,15–0,20

Koeficient tření se zvyšuje hlavně, když se destičkové dopravníky neudržují v čistotě. Zejména v úsecích před myčkou lahví je nebezpečí takového znečištění.

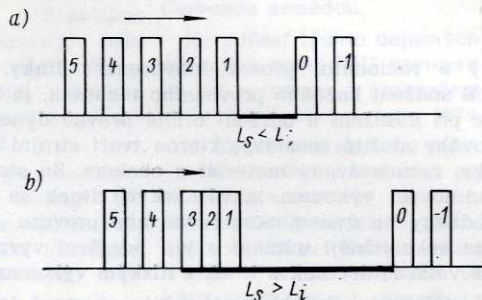
Ochranné zábradlí vystupuje jako překážka pohybu, zejména při změně směru. V extrémním případě, když láhev narazí kolmo na pevnou překážku, je zřejmé, že veškerá kinetická energie je touto překážkou pohlcena, popřípadě vede k deformaci některé části. Ochranné zábradlí dopravníku však není nastaveno kolmo k pohybu lahví, takže se síly rozloží podle vektorového diagramu, část energie je pohlcena zábradlím a část umožňuje další pohyb lahví.

Zábradlí nastavené pod úhlem

45° pohltí asi 30 % energie,

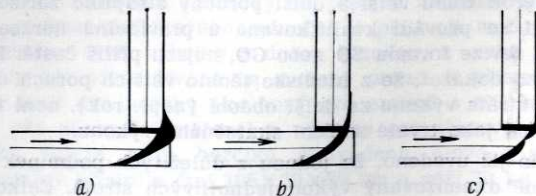
30° asi 14 % energie,

15° asi 5 % energie.



Obr. 2. Přestup lahví přes přesuvnou destičku při příčném pohybu lahví a délce destičky $= L_s$

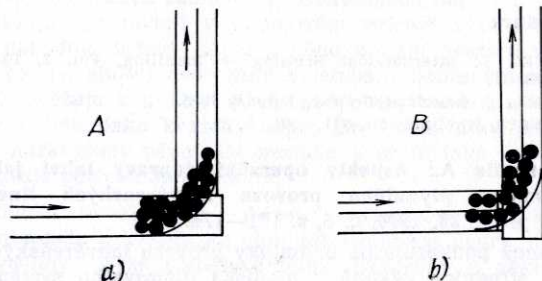
Protože zábradlí je pevné, projevuje se podíl pohlcené energie tlakem mezi jednotlivými lahvemi, které ztrátou části kinetické energie vytvářejí před překážkou shluk a tlak mezi jednotlivými lahvemi vyvolává nebezpečí vzájemného zaklesnutí, zvýšeného tím, že tělo lahví není vždy ideálně válcovité, že vystupují vnější švy apod. Zde je potom možno poukázat na to, že i tvar vnějšího zábradlí má vliv na vytváření shluku. Nejčastěji má vnější zábradlí kruhový průběh. Promítneme-li síly, které zábradlí zachycuje, dostaneme nepravidelný průběh, který má nepříznivý vrchol právě v místech, kde láhev přichází k přesuvné destičce, což znamená, že v nejméně příznivém místě je největší nebezpečí vzájemného zaklesnutí lahví. Rozložení sil zachycených zábradlím je výhodnější, když má vnější zábradlí tvar paraboly, popřípadě když vnější zábradlí má tvar dvou kruhových oblouků s vloženou přímkou částí. V tomto posledním případě sice nevyloučíme nepravidelnost rozložení sil, ale vrchol rozkládáme na dvě místa z hlediska pohybu lahví výhodnější. Na obr. 3 jsou tyto různé případy schematicky znázorněny.



Obr. 3. Průběh sil na vnějším zábradlí dopravníku lahví při různém tvaru oblouku: a = kruhový, b = parabolický, c = oblouk je složen ze 22 kruhových částí spojených krátkým přímkovým úsekem

Způsob vzájemného napojení dvou dopravníků v rohovém spojení může být v zásadě proveden dvěma způsoby. Podle délky příváděcího dopravníku můžeme jedno uspořádání nazvat „prodloužený roh“, který označíme A, nebo „zkrácený roh“, označení B. Obrázek 4 znázorňuje tato jednotlivá uspořádání.

Prodloužený roh — uspořádání A, má určitou nevýhodu v tom, že láhve jsou přiváděcí dopravníkem unášeny stále v původním směru a změnu směru vyvolává až shluk lahví vytvořený po nárazu na vnější zábradlí. To zvyšuje hlučnost dopravy lahví. Výhodou však je, že toto uspořádání umožňuje, aby skelné střepy byly částečně vynášeny prodlouženou částí přiváděcího dopravníku z dopravního toku ven.



Obr. 4. Schematické znázornění prodlouženého rohu „A“ a zkráceného rohu „B“, při rohovém spojení dopravníků lahví

Uspořádání B — zkrácený roh, naproti tomu má výhodu v tom, že změna směru lahví není vyvolána výhradně shlukem lahví před zábradlím, nýbrž vyvolává ji již dříve odváděcí dopravník, což snižuje tlak na zábradlí a následkem menšího shuku lahví je i nižší hlučnost tohoto uspořádání. Nevýhodou je, že na odváděcí dopravník přecházejí prakticky všechny střepy, které zůstávají v dopravním toku a střep se může zaklesnout pod destičku dopravníku. Hlavní nevýhoda je ovšem v tom, že přesuvná destička musí být umístěna kolmo na směr pohybu lahví, což při rychlostech nad 20 m/min může přivodit kácení lahví. Konstrukci přesuvné destičky v tomto případě je nutno věnovat maximální péči.

Seřazovačů lahví musíme použít všude, kde láhve z víceřadého dopravníku musejí přejít na jednořadý dopravník (vstup do tzv. zástupových strojů). Konstrukčních řešení seřazovačů je řada a v tomto pojednání není možno se jimi podrobněji zabývat, chci pouze upozornit na nebezpečí v tom, že i když všechna konstrukční uspořádání se snaží, aby seřazování bylo plynulé, přesto se může seřazovač stát překážkou vzájemným zaklesnutím lahví. Kritická šířka je rovna dvěma průměrům těla láhve a k zaklesnutí přispívá zvýšený tlak lahví před seřazovačem. Proto by přímé úseky víceřadého dopravníku před seřazovačem neměly být delší než 2,5 až 3 m a do delších úseků je nutno vkládat regulační prvky, které vyloučí zvyšování tlaku lahví.

Jako obecná směrnice se v literatuře [1] udává, že úhel zúžení seřazovače by měl být 3 až 8°, u vyšších výkonů 3 až 4° a délka zúžení by měla být minimálně 20 lahvových průměrů.

Regulační schopnost. U linek středních a vyšších výkonů od 15 000 lahví/h výše, vystupuje do popředí regulační schopnost dopravního systému lahví. Často bývá tato funkce nahrazována akumulací kapacitou dopravníků, což není zcela správné, i když hlavní podmínkou pro regulační schopnost je správně určená akumulací kapacita dopravního systému, která nesmí být samostatná, neboť cílem není láhve v určitém úseku hromadit, nýbrž láhve musejí mít možnost plynule se vracet do dopravního toku.

Aby systém dopravníků měl regulační schopnost, pokud jde o udržení dynamické rovnováhy soustavy, musí být splněny dvě podmínky:

- správně určená akumulací kapacita mezi jednotlivými stroji linky v přímé vazbě na jejich výkon,
- vhodné konstrukční uspořádání akumulacích prvků tak, aby akumulované láhve nebyly trvale vyřazovány z dopravního toku.

Zatímco u linek do výkonu asi 15 000 lahví/h je možno akumulací kapacitu odhadnout nebo stanovit empiricky, je u vyšších výkonů pouhý odhad obtížný. Akumulací kapacitu vyjadřujeme buď počtem lahví, nebo akumulací plochou v m².

Vyjadřovat akumulací kapacitu pouze časovým údajem, tj. dobou, pro kterou je možno láhve v určitém úseku hromadit, je, jak je z dalšího zřejmé, zjednodušením celé otázky.



Obr. 5. Schéma celkové akumulací kapacity CAK mezi strojem n-1 a strojem n

Provedeme-li jednoduchý rozbor dopravního toku mezi strojem n-1 (např. myčkou) a strojem n (např. monoblokem), který je znázorněn na obr. 5, potom uvidíme, že akumulací kapacita, přesněji celková akumulací kapacita (CAK), se skládá ze tří složek:

- základního toku (ZT),
- provozního minima (PM),
- kapacity zdržení (KZ),

což lze vyjádřit takto: $CAK = ZT + PM + KZ$.

Základní tok — ZT: je počet lahví, který za normálního plynulého chodu linky, prochází dopravním úsekem mezi strojem n-1 a strojem n.

Provozní minimum — PM: je počet lahví, který je nutný k zajištění provozu stroje n v době průměrné nezbytné zastávky stroje n-1.

Kapacita zdržení — KZ: je počet lahví, které je třeba v dopravním úseku akumulovat — zdržet po dobu průměrné nezbytné zastávky stroje n, aniž by bylo nutno zastavovat okamžitě stroj n-1.

Výpočtem jednotlivých složek CAK dostaneme počet lahví, které je nutno umístit v daném dopravním úseku. Nejčastěji je tento úkol zajišťován potřebnou délkou a šířkou dopravníků, která odpovídá potřebné ploše v m², ekvivalentní příslušnému počtu lahví. Na 1 m² akumulací plochy počítáme asi 185 až 200 ks lahví o Ø 71,5 mm, asi 250 až 260 ks lahví o Ø 55 mm, nebo 150 až 160 ks lahví o Ø 80 mm, popřípadě 125 až 135 ks lahví o Ø 87 mm.

Matematickou formulaci uvedených vztahů uvádí ve své práci Draebel [1]. Kromě běžných hodnot, z nichž výpočty vycházejí, je třeba znát pro jednotlivé stroje tzv. průměrnou dobu trvání nevyhnutelné zastávky t_p a četnost těchto zastávek x . Tyto hodnoty je nutno stanovit na lince obdobného typu za podobných provozních podmínek.

Pro tři základní složky CAK platí podle Draebela pro úsek mezi strojem n a strojem n+1 tyto vztahy:

$$\begin{aligned} \text{základní tok } ZT &= C_n \times t_{n-n+1}, \\ \text{provozní minimum } PM &= C_{n+1} \times S_n + K_{n+1}, \\ \text{kapacita zdržení } KZ &= C_n \times S_{n+1}, \end{aligned}$$

kde

- C — výkon stroje n nebo stroje n+1,
- S — průměrná doba zastavení stroje,
- K — konstanta závislá na způsobu vstupu lahví do stroje,
- t — minimální doba dopravy láhve od stroje n ke stroji n+1.

Obecně je možno rozdělit z hlediska průměrné doby trvání nevyhnutelné zastávky t_p a jejich četnost x , stroje tvořící lahvárenskou linku do dvou skupin. Stroje, které pracují s dlouhým taktem a láhve do nich vstupují v řadách, nebo skupinách — tzv. stroje řadové, např. myčka lahví, paster, vícehlavé vkládače a vykládače, paletizační zařízení apod., které se vyznačují tím, že nevyhnutelné zastávky mají delší dobu trvání, ale nízkou četnost. Naopak stroje, do kterých láhve vstupují jednotlivě v zástupu — tzv. stroje zástupové — zejména je-li jejich činnost ovlivňována pomocným materiálem, např. monoblok, etiketovačky, staniolovačky apod., je možno charakterizovat krátkým trváním doby nevyhnutelných zastávek, které však mají vyšší četnost.

Například při měření linky o výkonu 21 000 lah/h byly zjištěny tyto \varnothing hodnoty:

	doba trvání	četnost
	t sekund	x/h
stroje „řadové“	60 až 90	1 — 2
stroje „zástupové“	20 až 60	4 — 8

Jestliže má být dosahován a udržován výkon linky určený jmenovitým výkonem monobloku, je zpravidla v praxi závažnější situace v koncové části linky, tj. od monobloku k paletizaci. Zde jsou stroje, jejichž výkon podstatněji ovlivňuje zpracováváný materiál a na jejichž přesnou funkci jsou vyšší nároky, neboť zajišťují závěrečné operace před expedicí výrobku — etiketovací stroje, staniolovací stroje, vkládače lahví a paletizátor. Proto v této části linky je nárok na regulační schopnost dopravního systému vyšší. Zda má dopravní systém ve vztahu k akumulací kapacitě dostatečnou regulační schopnost, je možno ověřit výpočtem tzv. regresivní kapacity RK. Regulační schopnosti části dopravního systému je dosaženo, jestliže je splněna podmínka: $CAK \leq RK$.

Regresivní kapacita RK představuje schopnost stroje $n+1$ zpracovat láhve, které představují v daném úseku provozní minimum PM a kapacitu zdržení KZ v čase kratším, než je interval mezi dvěma následujícími nezbytnými zastávkami stroje $n+1$.

Výpočet CAK a RK také může určit limit kvality zpracováváného materiálu. Zpracováváme-li např. na stroji $n+1$ určitý materiál (etikety, staniol, lepidlo, nekvalitní láhve apod.) může nastat tak neúměrné zvýšení četnosti x , nebo prodloužené doby trvání t_p , nevyhnutelných zastávek stroje $n+1$, že prakticky nelze uvedenou podmínku splnit, dopravní systém ztrácí vinou zpracováváného materiálu regulační schopnost a následkem je snížení celkového výkonu linky.

Při vysokých výkonech nad 50 000 lah/h, kde již nestačí regulační schopnost dopravního systému, popřípadě kde by klasické řešení vyžadovalo příliš rozměrné zařízení, je zařazována plynulá regulace výkonu jednotlivých strojů v závislosti na využití CAK a před strojem i za strojem. Druhým prvkem, kterého se u těchto linek používá, aby byla zajištěna „pružnost“ linky, jsou tzv. „proudové stoly“. Proudový stůl je v podstatě akumulací stůl postavený kolmo na dopravník lahví, jehož

vlastní destičkové pásy se mohou pohybovat buď směrem od dopravníku, tj. stůl se naplňuje, nebo opačně při vyprázdnění. Směr pohybu je určován podle polohy 3 až 5 koncových spínačů, které reagují na stupeň zaplnění dopravníku, který tak „proudový stůl“ svou pružností udržuje v optimálním stavu. Tato generace opatření k zajištění plynulosti provozu byla vyvinuta pro vysoké hodinové výkony.

Literatura

- DRAEBEL, J.: International Brewing + Distilling, Vol. 2, 1972, č. 10, 11, 12.
DRAEBEL, J.: American Brewer, January 1968.
DULLINGER, K.: Brauwelt, 111, 1971, č. 35.

Kratochvíle A.: Aspekty operační dopravy lahví jako předpoklad plynulého provozu lahvárenských linek. Kvas. prům. 20, 1974, č. 8, s. 171—174.

Článek poukazuje na podmínky provozu lahvárenských linek středních výkonů z hlediska dopravního systému dopravy lahví. Pojednává o rychlosti dopravníků, modulaci rychlosti, překážkách pohybu lahví a regulační schopnosti tohoto systému.

Кратохвиль, А.: Эффективный транспорт бутылок — основное условие бесперебойной работы разливно-закупорочных линий. Квас. прум. 20, 1974, № 8, стр. 171—174

V статье рассматриваются условия, являющиеся необходимыми для обеспечения бесперебойной работы поточных разливно-закупорочных линий средней производительности. Основным требованием нужно считать правильное решение системы транспорта бутылок. На ее показатели влияют скорость транспортов, метод регулирования их скорости, препятствия на пути движения бутылок и возможность управления ходом транспорта.

Kratochvíle, A.: Smoothly Operating Bottle Handling System — One of Basic Conditions for Maximum Efficiency in Bottleries. Kvas. prům. 20, 1974, No. 8, pp. 171—174.

The author outlines conditions which must be created in medium-capacity bottleries to ensure their maximum efficiency and pays special attention to bottle handling systems from smooth operation of which depends the output of the bottlery. The article deals with the speed of conveyers, speed control systems, obstacles in the path of bottles and regulation of bottle handling devices.

Kratochvíle, A.: Der Operations-Flaschentransport als Voraussetzung des fließenden Betriebes der Flaschenabfülllinien. Kvas. prům. 20, 1974, No. 8, S. 171—174.

In dem Artikel wird auf die Bedingungen des Betriebes der Flaschenabfülllinien mittlerer Leistungen vom Standpunkt des Flaschentransportsystems hingewiesen. In diesem Zusammenhang werden folgende Bedingungen behandelt: Geschwindigkeit der Förderer, Modulation der Geschwindigkeit, Hindernisse der Bewegung der Flaschen und Regulationsfähigkeit dieses Systems.