



ПРЕДИМСТВА НА ХИБРИДНИТЕ СТРАТЕГИИ С ИЗБУТВАНЕ И ИЗТЕГЛЯНЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛ НА ПРОИЗВОДСТВОТО

Красен Димитров

krasendimitrov@unwe.bg

**Университет за национално и световно стопанство (УНСС)
1700 София, район „Студентски“, ул. „8-ми декември“ № 19,
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** управление на производството, стратегии с изтегляне, хибридни стратегии с изтегляне и избутване*

***Резюме:** Понастоящем индустрията в света е в процес на трансформация под влиянието на редица ключови фактори: нови технологии, нови продукти, нови характеристики на търсенето и стремеж към цифрова трансформация. Тази съвременна индустриална среда налага необходимостта от адаптивни и устойчиви стратегии за управление на производството.*

В настоящата статия са разгледани публикации, анализиращи на системите за производствен контрол, като се обръща особено внимание на стратегиите за изтегляне и хибридните стратегии с избутване и изтегляне. Тези стратегии са анализирани в контекста на тяхното приложение в различни производствени среди, за да се разкрие потенциал за повишаване на ефективността и за намаляване на запасите от незавършено производство.

Разгледани са подходи за класифициране и анализ на системите, което е отправна точка при оценка и подбор на подходяща система за управление на производствените процеси. Обърнато е внимание и на подходи, които подпомагат конфигурирането на системите за управление и контрол на производството, което предоставя ценни идеи за оптимизирането му.

Представени са предимствата от интеграция на технологиите от Индустрия 4.0 с принципите на икономичното производство, като рационално използване на ресурсите чрез подобрена прозрачност на данните и анализи в реално време, в цялостната система за управление на операциите, което оказва допълнително положително влияние върху производствените резултати.

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременната индустриална среда протичат процеси на трансформация под влиянието на редица ключови фактори: нови технологии, нови продукти, нови характеристики на търсенето и стремеж към цифрова трансформация. Тези процеси налагат необходимостта от адаптивни и устойчиви стратегии за управление на производството, които да са приложими в различни производствени среди и да са

насочени към оптимизирането на производствения контрол за повишаване на ефективността и намаляване на запасите от незавършено производство.

Целта на настоящата публикация е въз основа на преглед на литературни източници да се анализират възможните стратегии за управление на производството с фокус върху изтеглящите производствени системи (pull) като Kanban, CONWIP и хибридните системи, да се изследват подходите за класифициране и анализ на стратегиите за управление на производството, които да предоставят ценни идеи за оптимизиране на производственото планиране, както и да се оценят възможностите за интеграция на технологиите от Индустрия 4.0 с принципите на стройното производство, като се подчертаят потенциалните ползи и предизвикателства с фокус върху изтеглящите производствени системи (pull) като Kanban, CONWIP и хибридните системи

Обобщените резултати от изследванията могат да помогнат на изследователи и практики при провеждането на последващи анализи на системите за управление и контрол на производството и тяхното практическо приложение.

1. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА СТРАТЕГИИТЕ С ИЗБУТВАНЕ/ИЗТЕГЛЯНЕ И ХИБРИДНИТЕ СТРАТЕГИИ

Литературата за стратегиите с избутване/изтегляне и хибридните стратегии е обширна, като многобройни проучвания изследват диференциацията и ефективността на тези стратегии в различни производствени контексти. Разграничението между избутващите и изтеглящите стратегии се корени основно в техните оперативни философии. Избутващите стратегии се характеризират с производство, управлявано от прогнозираното търсене, което води до по-високи нива на запасите, докато изтеглящите се управляват от действителното търсене, като се стремят да сведат до минимум запасите и да намалят загубите (Razmi et al., 1998; Puchkova et al., 2016).

При стратегиите с избутване, например ППМ - планиране потребностите от материали (MRP – Material Requirements Planning), производството се планира въз основа на прогнози, което може да доведе до високи нива на запасите и потенциално свръхпроизводство при разминаване на прогнозните и реалните потребности на клиентите.

При стратегиите с изтегляне, например Kanban-контролирано производство „точно навреме“ (Kanban-controlled Just-In-Time), производството започва въз основа на действителното търсене, като целта е да се намалят запасите и свързаните с тях разходи. Системата Kanban се отличава със своята ефективност в стабилни среди с предвидимо търсене, но може да не се представи толкова добре в по-променливи условия. За разлика от нея, системата за оперативно управление на производството CONWIP (Continuous Work in Progress), която поддържа постоянно ниво на незавършеното производство по цялата производствена линия, се оказва по-адаптивна към промените в търсенето и производствените условия (Spearman et al., 1990).

Хибридните стратегии съчетават елементи както на стратегиите с избутване, така и на тези с изтегляне, като се опитват да използват съответните им силни страни, което обуславя техния потенциал за подобряване ефективността на производството, намаляване на разходите и подобряване на способността за реагиране на търсенето на клиентите. Те се използват, за да балансират предимствата и недостатъците на всеки от отделните подходи, като оптимизират контрола на производството чрез минимизиране на разходите и задоволяване на търсенето на клиентите, като същевременно са устойчиви на смущения (Wei et al., 2024). Хибридните стратегии, съчетаващи елементи на Kanban и CONWIP, са представени като универсални решения, които ефективно

управляват нивата на запасите и осигуряват висока производителност в сложни производствени условия (Bonvik et al., 1997 през Puchkova et al. 2016).

2. ПРЕДИМСТВА НА ПРИЛАГАНЕТО НА ХИБРИДНАТА СТРАТЕГИЯ С ИЗБУТВАНЕ И ИЗТЕГЛЯНЕ

Интегрирането на избутващите и изтеглящите стратегии в хибридни модели предлага балансиран подход към производствения контрол, като се съобразява с динамичните нужди на съвременните производствени среди. Този синтез на методологии позволява оптимизирано планиране и контрол на производството, като се справя с предизвикателствата, породени от променливостта на търсенето и сложността на производството. Концепцията за избутване и изтегляне в производството и дистрибуцията е предмет на значителна дискусия и анализ в литературата по управление на операциите. Разграничението между тези две концепции често се обсъжда, като някои го разглеждат като ясна дихотомия, основана на специфични атрибути на контрола на материалните потоци, докато други го виждат като по-нюансиран спектър, повлиян от различни процеси на вземане на решения (Pyke & Cohen, 1990).

В практическите приложения за сравняване на ефикасността на планирането, основано на изтегляне и избутване, се използва интеграцията на симулационни техники, като например симулация на дискретни събития и казусни изследвания. Този сравнителен анализ показва, че планирането, базирано на изтегляне, води до значително намаляване на времето за завършване на производството и времето на престой на компонентите, като подчертава неговата ефективност в сравнение с планирането, базирано на избутване (Wei et al., 2024).

Интегрирането на избутващите и изтеглящите стратегии може да доведе до подобряване на оборотите на запасите и увеличаване на печалбите, както е показано в редица проучвания, които сравняват различни механизми за контрол на производството (Bonvik et al., 1997 през Puchkova et al. 2016).

Geraghty и Heavey (2004 г.) сравняват хибридните стратегии със системата с непрекъсната работа в процес на изпълнение CONWIP, като показват, че една хибридна система може да превъзхожда чистите избутващи или изтеглящи стратегии с оптимизиране на складовите наличности и гаранционните запаси.

Хибридният подход за управление на производството, който съчетава елементи както на централизираните, така и на децентрализираните структури за управление, предлага обещаващо решение за управление на производствените дейности. Този подход използва гъвкавостта и реактивността на децентрализираните системи, като същевременно поддържа ефективността на планирането на централизираните системи. Концепцията за ресурса с тясно място играе решаваща роля за синхронизиране на производството и осигуряване на доставка точно навреме чрез фокусиране върху най-ограничения ресурс (Trentesaux et al., 1998).

3. ПОДХОДИ ЗА КЛАСИФИЦИРАНЕ И ПОДБОР НА ПРОИЗВОДСТВЕНИТЕ СТРАТЕГИИ

Избутващите и изтеглящите стратегии в производството и дистрибуцията не се изключват взаимно, а по-скоро съществуват в спектър, повлиян от различни процеси на вземане на решения. Продължаващото изследване на хибридните системи допълнително подчертава необходимостта от адаптивни и устойчиви стратегии за управление на производството в съвременната динамична индустриална среда. Класифицирането и анализът на тези системи предоставят ценни идеи както за изследователите, така и за практиците в областта на управлението на операциите.

Класификацията на производствените стратегии в контекста на системите за контрол на материалите с избутвање и издърпване служи за анализ и сравнение на различни процедури за управление. Тя е особено полезна за проектантите на системи и емпиричните изследвания, които трябва да разгледат различни аспекти на контрола на материалите (Puke & Cohen, 1990).

Аналитичният йерархичен процес е използван като методологичен подход за класифициране на избутващите, изтеглящите и хибридните стратегии, осигурявайки структурирана рамка за вземане на решения при планирането на производството. Този подход позволява оценяването на различни стратегии въз основа на множество критерии, включително разходи, гъвкавост и пазарни условия, като по този начин улеснява цялостното разбиране на оптималната стратегия за управление на производството за конкретна среда (Razmi et al., 1998). Прилагането на аналитичния йерархичен процес и симулационни техники при класифицирането и оценяването на избутващите, изтеглящите и хибридните стратегии предоставя ценни идеи за оптимизиране на производственото планиране. Интегрирането на „стройните“ (Lean) принципи допълнително повишава ефективността на планирането, базирано на изтегляне, което го прави по-подходящ подход за съвременните производствени среди. Анализът на производствените системи, особено в контекста на производството „точно навреме“ (JIT-Just-In-Time), разкрива сложното взаимодействие между различните структури за управление и тяхното въздействие върху ефективността на производството. Проучването на практиките на „точно навреме“ в различни производствени системи подчертава адаптивността и предизвикателствата, свързани с прилагането им и подчертава значението на разбирането на специфичните характеристики на производствените системи за ефективно прилагане на практиките на „точно навреме“ и постигане на желаните резултати (White & Prybutok, 2001).

Допълнителното прилагането на методологията Response Surface Methodology (RSM) може да се използва за оптимизиране на стратегиите за производствен контрол чрез моделиране и симулиране на производствени линии. Същността на тази методология се състои в идентифициране на оптимални конфигурации, които минимизират запасите от незавършено производство, като същевременно поддържат високи нива на обслужване на клиентите. Методологията RSM е особено полезна в среди с висока променливост на времето за обработка и интервалите на търсене, като осигурява гъвкава рамка за оптимизация (Gaugy et al., 1997).

4. ИНТЕГРАЦИЯ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ ОТ ИНДУСТРИЯ 4.0 С ПРИНЦИПИТЕ НА СТРОЙНО ПРОИЗВОДСТВО

Индустрия 4.0, характеризираща се с киберфизични системи, интернет на нещата (IoT) и анализ на големи обеми данни, има за цел да повиши гъвкавостта, качеството и производителността на производството. Стройното производство се фокусира върху намаляването на загубите и непрекъснатото усъвършенстване чрез стандартизирани практики (Buer et al., 2022). Интеграцията на тези парадигми, често наричана Lean 4.0, обещава да намали допълнително деветте загуби, идентифицирани в „Lean“ производството, чрез използване на цифрови технологии. В контекста на потенциалните синергии между Индустрия 4.0 и стройното производство, следва да се отбележи, че докато големите корпорации могат лесно да възприемат тези технологии благодарение на достъпа си до капитал, малките и средните предприятия (МСП) са изправени пред значителни предизвикателства поради финансови ограничения. За МСП се препоръчва итеративен подход към Индустрия 4.0, като първоначално се акцентира върху цифровизацията и управлението на данни, за да се премине постепенно към по-усъвършенствани киберфизични системи (Mofolasayo et al., 2022). В

литературата се изтъква и ролята на Индустрия 4.0 за подобряване на практиките за рационално използване на ресурсите чрез подобрена прозрачност на данните, анализи в реално време и децентрализирано вземане на решения (Wagner et al., 2022).

Важно е значението на интегрирането на принципите на „Lean“, като например производството „точно навреме“, в планирането на производството. „Точно навреме“, стратегия, базирана на изтегляне, привежда производствените графици в съответствие с търсенето в реално време, като по този начин намалява загубите и повишава ефективността на веригата на доставки. Този подход контрастира с традиционната философия, базирана на избуване, която често води до излишни запаси и неефективност (Wei et al., 2024).

Изследователите са единодушни, че интегрирането на практиките на „точно навреме“, като например Kanban системата за оперативно управление на производството, тотален контрол на качеството и многофункционални служители, оказва значително влияние върху производствените резултати. Например Kanban се свързва с подобро време за изпълнение, докато тоталният контрол на качеството повишава качеството на продуктите и услугите. Тези практики са по-разпространени в дискретни производствени системи, които по своята същност са по-съвместими с принципите на „точно навреме“ поради стандартизираните си процеси и по-ниската си променливост (White & Prybutok, 2001).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, може да се обобщи, че изследването на стратегиите за контрол на производството, особено на производствените стратегии с изтегляне и хибридните системи, предоставя ценни прозрения за оптимизиране на производствените процеси. Наред с това като следствие от изследването на хибридните системи и принципите на „Lean“ е необходимо да се подчертае необходимостта от адаптивни и устойчиви стратегии за управление на производството в съвременната индустриална среда. За успешното прилагане на тези стратегии се изисква нюансирано разбиране на характеристиките на производствената система и интегрирането на структури за управление, които балансират гъвкавостта, реактивността и ефективността.

Хибридните системи, които използват силните страни както на избуващите, така и на издърпващите стратегии, предлагат обещаващо решение за среди, изискващи гъвкавост и способност за реагиране на промените в търсенето. Интегрирането на такива техники за оптимизация и стратегическото използване на хибридни стратегии може значително да повиши ефективността на производството и адаптивността в производствените системи. Тези стратегии са от решаващо значение за повишаване на ефективността и за намаляване на запасите от незавършено производство.

В допълнение, интегрирането на технологиите от Индустрия 4.0 с принципите на икономичното производство, наричано Lean 4.0, предоставя възможности за допълнително намаляване на отпадъците и повишаване на гъвкавостта, качеството и производителността на производството.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Razmi, J., et al. “Use of Analytic Hierarchy Process Approach in Classification of Push, Pull and Hybrid Push-pull Systems for Production Planning.” *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 18, no. 11, 1998, pp. 1134–1151. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1108/01443579810231705>.
- [2] Puchkova, A. et al. “Balancing Push and Pull Strategies within the Production System.” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 2, 2016, pp. 66–71. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.03.012>.
- [3] Spearman, Mark L., et al. “CONWIP: A Pull Alternative to Kanban.” *International Journal of Production Research*, vol. 28, no. 5, 1990, pp. 879–894. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/00207549008942761>.
- [4] Wei, Y., et al. “Simulation-Based Comparison of Push- and Pull-Based Planning in Panelized Construction.” *Automation in Construction*, vol. 158, 2024, p. 105228. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105228>.
- [5] Bonvik, A. M., et al. “A Comparison of Production-Line Control Mechanisms.” *International Journal of Production Research*, vol. 35, no. (3), 1997, pp. 789–804.
- [6] Pyke, D. F., and Cohen M. A., “Push and Pull in Manufacturing and Distribution Systems.” *Journal of Operations Management*, vol. 9, no. 1, 1990, pp. 24–43. DOI.org (Crossref), [https://doi.org/10.1016/0272-6963\(90\)90144-3](https://doi.org/10.1016/0272-6963(90)90144-3).
- [7] Geraghty, J. and Cathal H., “A Comparison of Hybrid Push/Pull and CONWIP/Pull Production Inventory Control Policies.” *International Journal of Production Economics*, vol. 91, no. 1, Sept. 2004, pp. 75–90. DOI.org (Crossref), [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00210-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00210-X).
- [8] Trentesaux, D., et al. “Hybrid Production Control Approach for JIT Scheduling.” *Artificial Intelligence in Engineering*, vol. 12, no. 1–2, 1998, pp. 49–67. DOI.org (Crossref), [https://doi.org/10.1016/S0954-1810\(96\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0954-1810(96)00052-0).
- [9] White, R. E. and Prybutok V., “The Relationship between JIT Practices and Type of Production System.” *Omega*, vol. 29, no. 2, 2001, pp. 113–124. DOI.org (Crossref), [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(00\)00033-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(00)00033-5).
- [10] Gaury, E. G. A., et al., “Configuring a Pull Production Control Strategy Through a Generic Model.” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 30, no. 19, 1997, pp. 187–192. DOI.org (Crossref), [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)42297-X](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)42297-X).
- [11] Buer, S.-V., et al., “The Link between Industry 4.0 and Lean Manufacturing: Mapping Current Research and Establishing a Research Agenda.” *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 8, 2018, pp. 2924–2940. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>.
- [12] Mofolasayo, A. et al. “How to Adapt Lean Practices in SMEs to Support Industry 4.0 in Manufacturing.” *Procedia Computer Science*, vol. 200, 2022, pp. 934–943. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.291>.
- [13] Wagner, T., et al. “Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems.” *Procedia CIRP*, vol. 63, 2017, pp. 125–31. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>.

ADVANTAGES OF HYBRID PUSH-PULL STRATEGIES FOR PRODUCTION MANAGEMENT AND CONTROL

Krasen Dimitrov

krasendimitrov@unwe.bg

*University of National and World Economy
1700 Sofia, Student District, No.19 December 8th st.,
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *production management, pull strategies, hybrid push/pull strategies*

Abstract: *The global industry is currently undergoing a transformation influenced by a number of key factors: new technologies, new products, new demand characteristics and the drive towards digital transformation. This modern industrial environment necessitates the need for adaptive and sustainable manufacturing management strategies.*

The papers reviewed in this publication provide a detailed examination of manufacturing control systems, with a particular focus on pull strategies and hybrid push and pull strategies. These strategies are analyzed in the context of their application in different manufacturing environments to reveal the potential for increasing efficiency and reducing work-in-process inventories.

Frameworks for classifying and analyzing systems are discussed as a starting point for evaluating and selecting an appropriate manufacturing process management system. Attention is also given to approaches that support the configuration of manufacturing management and control systems, which provides valuable insights for manufacturing optimization.

The benefits of integrating Industry 4.0 technologies with lean manufacturing principles, such as rational use of resources through improved data visibility and real-time analytics, into the overall operations management system are presented, further positively impacting manufacturing performance.