

УДК 658.78.001.57

Н.О. Мінняйло, доцент, к.т.н.

М.Ю. Пазюк, зав. кафедрою, д.т.н., професор

К.В. Коцило, магістрант

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ПЕРЕВАНТАЖЕННІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ НА ВІДКРИТОМУ СКЛАДІ

Запорізька державна інженерна академія

Выполнено моделирование работы технологического оборудования при перегрузке сыпучих материалов на рудном дворе металлургического предприятия. Получены выводы относительно рационального расположения рудно-грейферных перегружателей на территории склада при выполнении задания снабжения сырьем агломерационного и доменного цехов. На основе разработанной модели возможно проведение исследований влияния изменения производственных мощностей и технологических особенностей работы оборудования на его загруженность.

Ключевые слова: шихта, штабель, рудно-грейферный перегружатель, режим работы, производительность, моделирование.

Виконано моделювання роботи технологічного обладнання при перевантаженні сипких матеріалів на рудному дворі металургійного підприємства. Одержано висновки щодо раціонального розташування рудно-грейферних перевантажувачів на території складу при виконанні завдання забезпечення сировиною доменного та агломераційного цехів. На основі розробленої моделі можливо проведення досліджень впливу змінювання виробничих потужностей та технологічних особливостей роботи обладнання на його завантаженість.

Ключові слова: шихта, штабель, рудно-грейферний перевантажувач, режим роботи, продуктивність, моделювання.

It is made the modeling of working process technical equipment for trans-shipment of dry materials at the ore yard of metallurgical plant. The conclusions are derived of concerning the rational arrangement of ore-bucket-reloaders on the warehouse during the issue of domain supply of raw materials to the sinter and the blast furnaces shops. On the basis of the developed model researches of the changes at production capacity and technological features for work of the equipment on its workload can be carry out.

Key words: charge, stack, ore-bucket-reloader, operating mode, performance, modeling.

Вступ. Одним з факторів, що впливають на якість процесів підготовки сировини до грудкування або переділу, є процеси, пов'язані з організацією робіт технологічного обладнання залежно від його характеристик і робочих параметрів.

При подаванні сировини на металургійне підприємство першим етапом його підготовки є процеси перевантаження, усереднення та подавання до приймальних бункерів агломераційного та доменного цехів. Такі процеси виконують на складах (рудних дворах) відкритого чи закритого типу із застосуванням спеціальних механізмів безперервної та циклічної дії [1].

На деяких відкритих складах металургійних підприємств застосовують вагоноперекидачі та козлові грейферні перевантажувачі, які випускають серійно [2-4]. Незважаючи на те, що грейферна схема не є ідеальною для перевантаження матеріалів,

для багатьох підприємств вона дає єдину можливість істотно впливати на закономірності коливань основних параметрів сировини. Підтримуючи раціональний для конкретних умов порядок формування та розробки штабелів, можна досягати задовільних результатів [5].

Піддержання високої ефективності роботи складського обладнання є правильно оціненим та організованим розподілом завдань між механізмами з метою забезпечення необхідною кількістю матеріалу виробничих потреб з урахуванням особливостей роботи відкритих складів, а саме: недостатньої кількості матеріалу в штабелі, змерзання матеріалу, обмеження щодо технологічних переїздів на території складу, відмова складових частин обладнання та інше.

Стан питання. Для визначення оптимальної роботи та раціонального розташування технологічного обладнання на території складу під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт можна застосувати методи транспортної задачі або транспортної логістики, але такі підходи не враховують особливості процесів, які відбуваються з сировиною під час її транспортування або перевантаження. Також необхідно враховувати, що визначення режиму роботи обладнання залежить від нормативного часу на перевантаження кожного виду матеріалів, часу роботи обладнання та часу, який відводиться для проведення профілактичних робіт (змащування механічних вузлів, технологічні перерви, поточний ремонт і т.д.).

Для опису процесів перевантаження сипких матеріалів широко застосовують балансові методи [6], згідно до яких кількість матеріалу, котрий перевантажують на рудному дворі повинна дорівнювати сумі кількості матеріалу, що перевантажує кожний механізм окремо. Необхідно також забезпечувати усереднення та подавання всіх компонентів шихти відповідно до потреб металургійного виробництва. Згідно балансового методу можна враховувати також продуктивність кожного виду обладнання, його параметри, час, режим роботи та інші технологічні особливості.

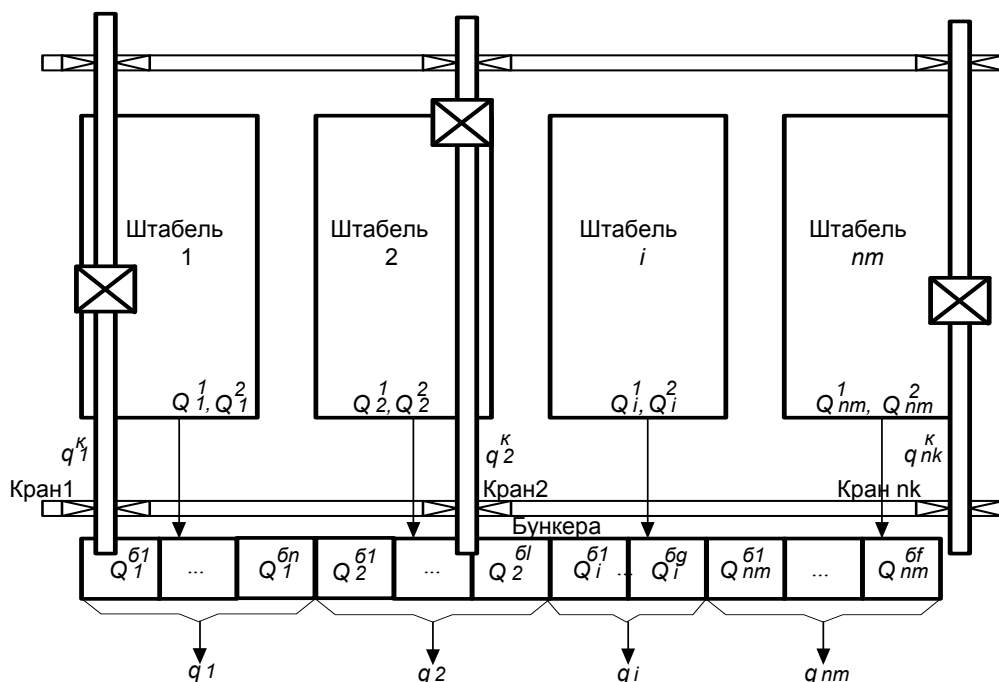
Особливості застосування математичного опису процесів перевантаження та постачання сировини зі складу до основних металургійних цехів на основі балансових підходів будуть обумовлені типом технологічного обладнання, яке використовують під час вирішення конкретних задач виробництва.

На відкритому складі з грейферною схемою рудно-грейферні перевантажувачі (РГП) служать для виконання вантажно-розвантажувальних робіт [7,8]. Матеріал із траншеї після розвантаження його з вагонів за допомогою вагоноперекидача, забирають грейфером і переміщують усередину рудного двору та укладають у штабелі позовжніми шарами. Забирання матеріалу із штабелів виконують грейфером поперечними шарами, що сприяє додатковому його усередненню. Потім РГП завантажують матеріал у перевантажувальний вагон бункерної естакади, що переміщується по естакаді швидше крана та розвозить матеріали у бункери для подальшого подавання їх у агломераційний цех або доменну піч. Таким чином, на рудному дворі, як правило, використовують вагоноперекидач, декілька РГП і трансферкари, що передбачає чітко узгоджену їх роботу з мінімальним часом простою технологічного обладнання та дотриманням його нормативної завантаженості.

Існуюче управління роботою технологічного обладнання полягає у формуванні бригадиром рудного двору рекомендацій щодо розподілу робіт та розташування механізмів на території складу. При цьому слід зазначити, що ефективність роботи даної дільниці підготовки шихти визначається і залежить від якості виконання поставлених завдань машиністами РГП.

Постановка завдання. З метою визначення раціонального розподілу РГП для виконання завдань постачання сировини для агломераційного та доменного цехів, а також оцінки роботи обладнання рудного двору, необхідно розробити засоби, які б дозволяли адекватно оцінювати різні технологічні ситуації на виробництві та виконувати корегування завдання або на етапі проектування складу підбирати необхідне для виробництва обладнання відповідної потужності.

Основна частина. Розробку математичного опису процесу перевантаження матеріалів виконували для умов відкритого складу, на якому розміщено штабелі з різними шихтовими матеріалами (рис. 1). Для перевантаження матеріалів з штабелів задіяно РГП. Структурну схему виробничого процесу подано на рис. 1.



$Q^1_1 \dots Q^1_{nm}$ - початкова кількість матеріалів у штабелях 1...nm, т; $Q^2_1 \dots Q^2_{nm}$ - поточні значення кількості матеріалів у штабелях 1...nm, т; $Q^{b1} \dots Q^{bnm}$ - поточні значення кількості матеріалів у бункерах, т; $q_1 \dots q_{nm}$ - задана потреба у відповідних шихтових матеріалах, т/год.; $q^k_1 \dots q^k_{nk}$ - продуктивність 1...nk РГП, т/год.

Рисунок 1 – Структурна схема відкритого складу

Основним завданням роботи складу є забезпечення виробництва заданою кількістю шихтових матеріалів:

$$\sum_{j=0}^{nk} \int_0^{t_{p2}} q_j dt \Rightarrow \sum_{i=1}^{nm} \int_0^{t_{p1}} q_i dt, \quad (1)$$

де q_i – потреба цеху в i -му компоненті шихти, т/год.; q_j – продуктивність j -го РГП, т/год.; t_{p1} – час використання шихтових матеріалів у виробництві, год.; t_{p2} – час роботи РГП, год.; i – кількість видів матеріалів ($i = 1 \dots nm$); j – кількість одночасно працюючих перевантажувачів ($j = 0 \dots nk$).

З рівняння (1) видно, що у разі, коли $\sum_{j=0}^{nk} \int_0^{t_{p2}} q_j dt < \sum_{i=1}^{nm} \int_0^{t_{p1}} q_i dt$, та при 100 % завантаженні технологічного обладнання, виробництво не забезпечують необхідною кількіс-

ттю матеріалів. За умови $\sum_{j=0}^{nk} \int_0^{t_{p2}} q_j dt > \sum_{i=1}^{nm} \int_0^{t_{p1}} q_i dt$ виробництво забезпечують необхідною кількістю матеріалів, але технологічне обладнання не використовують на повну потужність.

Для визначення кількості матеріалу ($\sum_{n=1}^{nb} Q_n^{\dot{a}-i\dot{o}}$), що знаходиться у бункерах агломераційного та доменного цеху, використовують формулу:

$$\sum_{n=1}^{nb} Q_n^{\dot{a}-i\dot{o}} = \sum_{n=1}^{nb} Q_n^{\dot{a}-\dot{c}\dot{a}\dot{e}} + \sum_{j=0}^{nk} \int_0^{t_{p2}} q_j dt, \quad (2)$$

де $\sum_{n=1}^{nb} Q_n^{\dot{a}-\dot{c}\dot{a}\dot{e}}$ – кількість матеріалів, що залишилася у бункерах на момент часу $t = t_{p2}$.

Під час перевантаження матеріалів зі штабелів у них залишається деяка кількість ($Q_m^{\dot{o}-\dot{c}\dot{a}\dot{e}}$), яку визначають згідно до формули:

$$Q_m^{\dot{o}-\dot{c}\dot{a}\dot{e}} = Q_o^{\dot{o}-i\dot{o}} - \sum_{j=0}^{nk} \int_0^{t_{p2}} q_j dt. \quad (3)$$

Продуктивність РГП обчислюють за формулою:

$$q_j = \frac{60}{t} \cdot Q_{nm}, \quad (4)$$

де q_j – продуктивність j -го перевантажувача, т/год.; 60 – коефіцієнт переведення хвилин на години; t – середній норматив часу виконання РГП одного циклу перевантаження матеріалу, хв.; Q_{nm} – середня кількість матеріалу в грейфері, т.

Під час моделювання процесу перевантаження матеріалів необхідно враховувати також наступні обмеження:

– умовою дозволу здійснювати розвантаження матеріалів зі штабелів є наявність у ньому мінімальної кількості матеріалу $Q_m^{\dot{o}-i\dot{o}} > Q_m^{\dot{o}-min}$, яка визначається параметрами штабеля, а також висотою шару, який може захопити грейфер при ефективному використанні його обсягу;

– при виконанні перевантаження матеріалів РГП можуть займати визначені наступною умовою положення відносно штабелів:

$$K_j = 3, \text{ якщо } K_{j+1} \neq 3 \text{ або } K_{j+2} \neq 3, \text{ або, } \dots \text{ або } K_{j=nm} \neq 3, \quad (5)$$

де K_j – положення j -го РГП відносно i -го штабеля;

– технологічні операції РГП виконують впродовж часу, що визначають як різницю між часом зміни та часом, що необхідно для переїзду перевантажувачів та їх технологічного обслуговування протягом зміни*:

$$t_p = t_{ci} - t_{o.i.} - t_r, \quad (6)$$

* Отчет по исследовательской работе № 1 ОАО «Запорожсталь» по теме «Расчет загрузки рудно-грейферных перегружателей рудного двора доменного цеха для обеспечения суточного производства агломерата». Инв. № 2-95. – Запорожье : ОАО «Запорожсталь», 1995. – 12 с.

де $t_{\dot{q}_i}$ – загальний час зміни, год.; $t_{\dot{o}.i.}$ – час, необхідний на технічне обслуговування обладнання, год.; t_i – час, необхідний РГП на переїзди, год.

У програмному середовищі «Matlab» додатку «Simulink» виконували розробку моделі процесу перевантаження шихтових матеріалів РГП та системи управління роботою РГП, яка дозволила залежно від початкових значень дослідити роботу технологічного обладнання та виконати висновки щодо ефективності його використання. Вхідними даними у моделі є: стан РГП (робочий чи не робочий), їх продуктивність та початкове положення відносно штабелів, початкова та мінімальна кількість сипких матеріалів у штабелях, за якої дозволено перевантаження; потреба виробництва у кожному виді матеріалів. Для введення до системи поточного часу та відліку проміжків часу у моделі використовували блоки «Clock» та генератор імпульсів. В результаті роботи моделі відображаються поточні положення кранів (з якого штабелю здійснюють перевантаження матеріалів) та змінювання кількості сипких матеріалів у штабелі під час їх перевантаження, а також поточне значення завдання виробництва.

Для опису логіки роботи РГП розроблено «Stateflow-діаграму», в якій завдяки підтримці паралельності виконання операцій виконували моделювання процесу перевантаження матеріалів трьома одночасно працюючими РГП та системи управління розташуванням перевантажувачів щодо штабелів. У моделі було визначено стани: формування завдання на перевантаження матеріалів, опис початкових даних, робота РГП (рис. 2) та розрахунок часу простоїв обладнання.

Робота одного РГП описується за допомогою 7 станів. k11, k12 та k13 – перевірка початкового положення перевантажувача відносно штабелів та залежно від цього відбувається перехід до відповідного стану mk11, mk12 та mk13. Дані стани виконують розрахунок кількості матеріалу, яка залишилася у штабелі та яка вже перевантажена РГП з відповідного штабелю. Перехід РГП на інший штабель здійснюють за умови наявності у ньому кількості матеріалу більше за мінімально допустиму та якщо поряд розташований перевантажувач не працює на даній території. За виконання умови $t_{\text{модел.}} = t_p$, або за $Q_m^{\text{од.}} - \dot{r}i\dot{o} < Q_m^{\text{од.}} - \text{min}$ РГП переходить до стану k10, який відповідає за зупинку роботи обладнання.

Якщо всі умови переходу на другий штабель виконано, то перевантажувач починає розвантажувати матеріал з нього за алгоритмом, аналогічним роботі на першому штабелі. Після роботи на другому штабелі РГП можна перемістити на перший або на третій штабель, при цьому перевіряють умови, описані раніше.

Інші РГП працюють за аналогічними алгоритмами.

Діаграма роботи РГП та результати моделювання процесів перевантаження сипких матеріалів представлені відповідно на рис. 3 та 4.

Таблиця 1 – Фактична завантаженість РГП

Номер РГП	Час перевантаження матеріалів зі штабелів, год.				Час простою, год.	Завантаженість, %
	1 штабель	2 штабель	3 штабель	4 штабель		
1	2,36	-	-	-	3,64	39,3
2	-	5,94	-	-	0,06	99,0
3	-	-	2,31	3,60	0,09	98,5

Як видно з рис. 3 та 4, РГП виконали задачу постачання матеріалів для виробництва відповідно до встановлених потреб та мали деякий час простою (табл. 1). По-

рівняльна характеристика роботи РГП за умов: $\sum_{j=0}^{nk} \int_0^{t_{p2}} q_j dt > \sum_{i=1}^{nm} \int_0^{t_{p1}} q_i dt$, $q_1^k > q_3^k > q_2^k$ та $q_2 > q_4 > q_1 > q_3$, наведена у табл. 1.

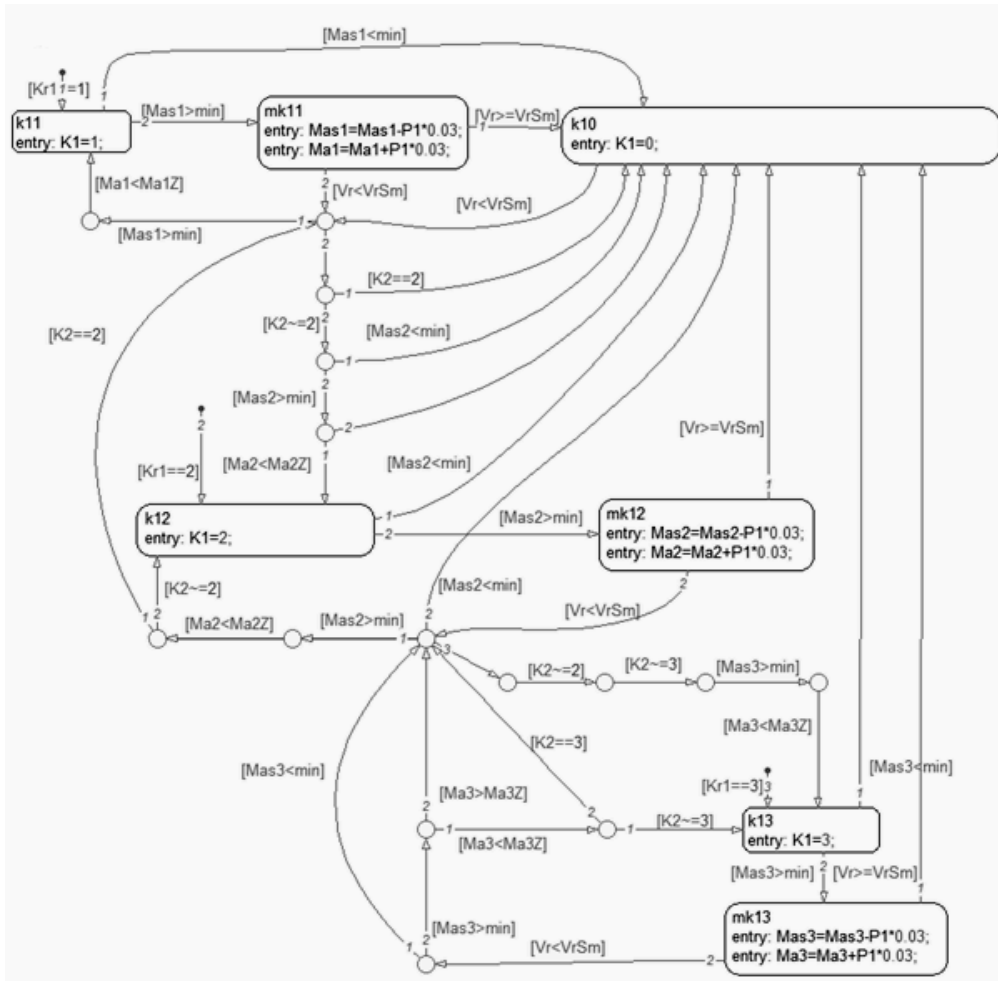


Рисунок 2 – Діаграма опису роботи РГП № 1

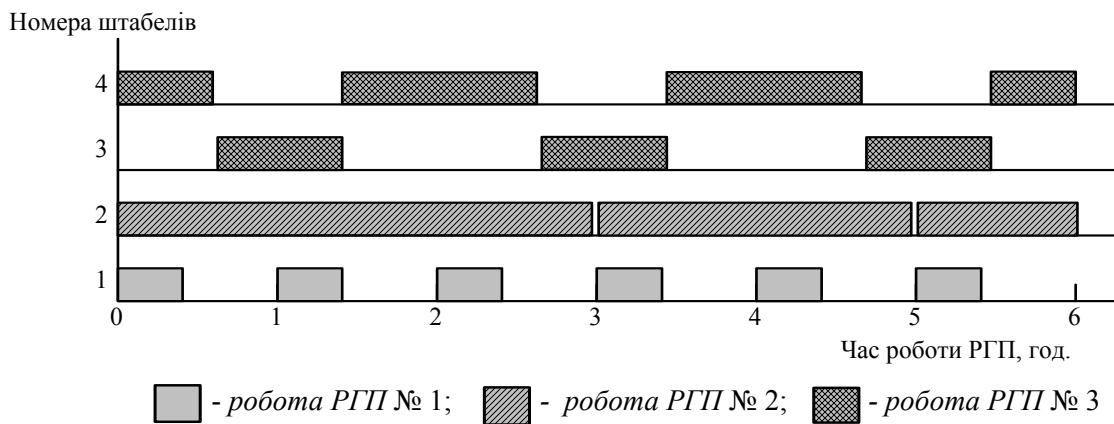
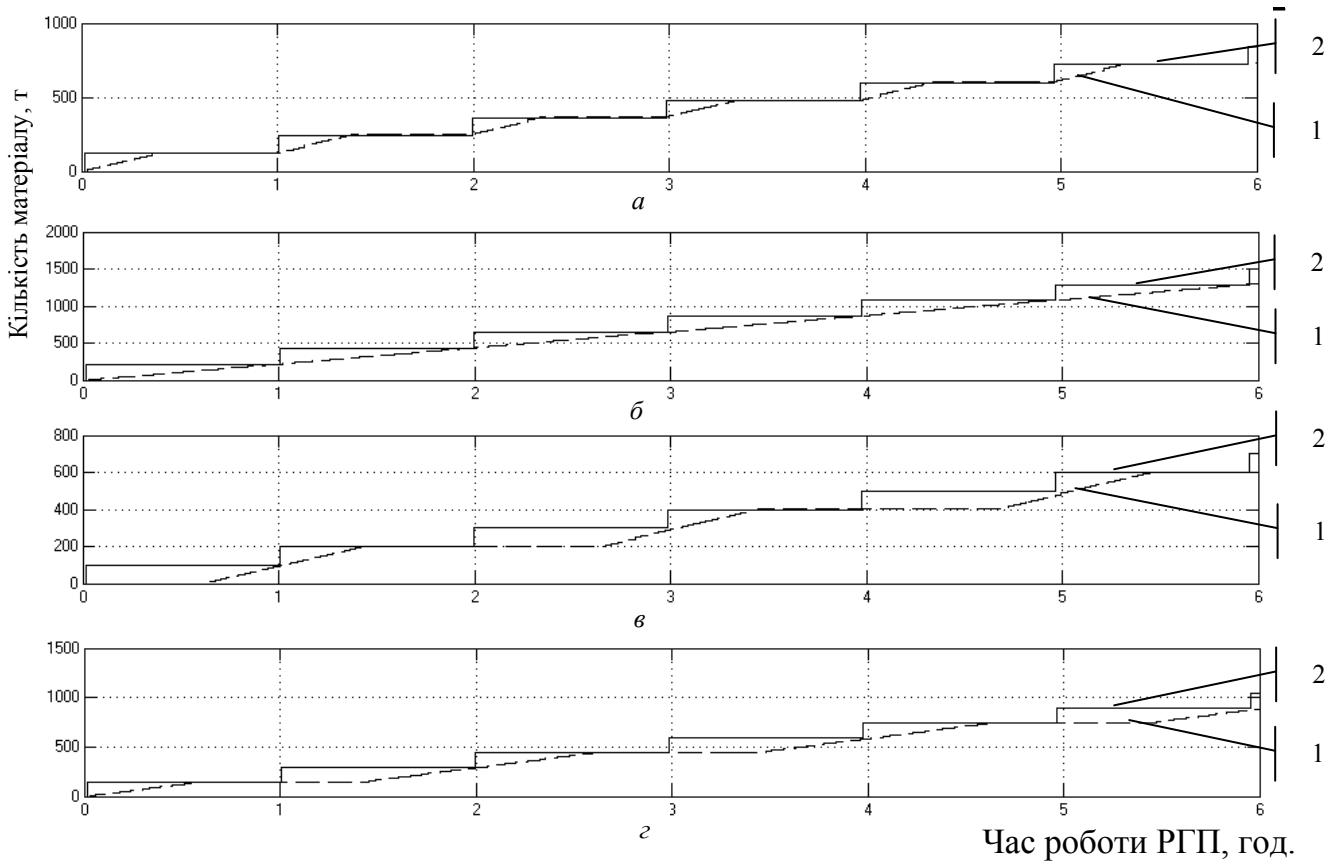


Рисунок 3 – Діаграма роботи трьох РГП на рудному дворі з чотирма штабелями



a – г - процес перевантаження матеріалів з штабелів 1-4 відповідно

Рисунок 4 – Поточні значення кількості перевантажених матеріалів (1) у порівнянні із завданням (2)

Згідно одержаним результатам, незважаючи на виконання поставленого завдання, завантаженість РГП № 2 та 3 не відповідає її нормативному значенню (85 %), за яким є можливим ефективно усереднення сипких матеріалів, а кран № 1 використовується лише на половину можливої потужності. Тому за заданої продуктивності перевантажувачів необхідно їх переставити відносно до штабелів матеріалів.

За умов роботи перевантажувачів (табл. 2), якщо $\sum_{j=0}^{nk} \int_0^{t_{p2}} q_j dt < \sum_{i=1}^{nm} \int_0^{t_{p1}} q_i dt$ і $q_1^k > q_3^k > q_2^k$ та $q_1 > q_4 > q_3 > q_2$, порівняльна характеристика завантаженості РГП подана у табл. 3.

Таблиця 2 – Вихідні дані для моделювання

Завдання виробництва, т/год.				Продуктивність, т/год.		
1 штабель	2 штабель	3 штабель	4 штабель	РГП № 1	РГП № 2	РГП № 3
250	80	90	220	240	200	210

Таблиця 3 – Завантаженість РГП після моделювання

Номер РГП	Час перевантаження матеріалів зі штабелів, год.				Час простою, год.	Завантаженість, %
	1 штабель	2 штабель	3 штабель	4 штабель		
1	6,0	-	-	-	0	100
2	-	2,19	2,37	-	1,44	76
3	-	-	-	6,0	0	100

Згідно визначених умов та одержаних результатів (табл. 3) видно, що завантаженість РГП № 1 та 3 складає 100 %, при цьому вони не встигають виконувати поставлене завдання, тому що їх продуктивність менша, ніж потрібно для перевантаження матеріалів $q_1^k < q_1$, $q_3^k < q_3$. При цьому перестановка РГП № 2, який має найменше значення завантаженості, на інші штабелі не забезпечить виконання завдань виробництва. В даному разі для складу необхідно застосовувати РГП, які є іншими за потужністю.

Висновки. В результаті побудови моделі перевантаження сипких матеріалів на відкритому складі металургійного підприємства досліджено вплив на завантаженість РГП завдань виробництва. Для забезпечення поточних виробничих потреб необхідно використовувати технологічне обладнання, продуктивність якого не менша за поставлену в завданні. До того не достатньо забезпечити сумарну відповідність кількостей матеріалу, а необхідно щоб завдання за кожним незалежним штабелем не перевищувало продуктивності РГП, який перевантажує з нього матеріал.

Таким чином, розроблений підхід дозволяє оцінювати завантаженість РГП під час проектування складського господарства, а також визначати раціональний розподіл технологічного обладнання на діючому складі.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Новожилов, М. Ж.* Качество рудного сырья черной металлургии [Текст] / М. Ж. Новожилов, Я. Ш. Ройзен, А. М. Эрперт. – М. : Металлургия, 1989. – 514 с. – Библиогр. : с. 409-411.
2. Усреднение железорудных материалов на складе аглофабрики завода «Криворожсталь» [Текст] / В. П. Миршавка, И. Л. Холмецкий, Л. А. Горский и др. // *Металлург.* – 1976. – № 12. – С. 8-11.
3. Оптимизация усреднения железорудных материалов на рудном дворе [Текст] / П. Г. Русаков, Л. Ф. Михайлова, В. В. Коробов и др. // *Черная металлургия.* – 1981. – № 17. – С. 46–47.
4. *Кулибин, В. А.* Подготовка руд к плавке [Текст] / В. А. Кулибин. – М. : Издательство литературы по черной металлургии, 1959. – 518 с. – Библиогр. : с. 512-514.
5. *Михайлова, Л. Ф.* Об эффективности усреднения железорудных материалов на рудном дворе [Текст] / Л. Ф. Михайлова, П. Г. Русаков // *Известия Вузов. Черная металлургия.* – 1979. – № 2. – С. 17-20.
6. *Пазюк, Ю. М.* Применение балансового метода для исследования и моделирования процессов подготовки рудного сырья к окускованию [Текст] / Ю. М. Пазюк, М. Ю. Пазюк, Н. А. Миняйло // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2013. – Вип. 1(29). – С. 5-11.
7. *Ефименко, Г. Г.* Металлургия чугуна [Текст] / Г. Г. Ефименко, А. А. Гиммельфарб, В. Е. Левченко. – Киев : Вища школа, 1981. – 496 с. – Библиогр. : с. 487-488.
8. Механическое оборудование фабрик окускования и доменных цехов [Текст] / В. М. Гребеник, Д. А. Сторожик, Л. А. Демьянец и др. – Київ : Вища школа, 1985. – 312 с. – Библиогр. : с. 307.

Стаття надійшла до редакції 03.12.2013 р.
Рецензент, проф. А.М. Ніколаєнко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>