

–Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных
систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/KOTB8442>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора
Ответственный секретарь

Талипов О. М., *доктор PhD*
Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожиллов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожиллов Т. А.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А.И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Кошкеков К.Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е.В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.,	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

FTAХА 50.47.29

<https://doi.org/10.48081/WLYP9185>

***Р. А. Әділғазы, С. Х. Есенбаев, Ж. Б. Есмұхамбет,
В. А. Иванов, К. К. Смагулова**

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы Қарағанды қ.

e-mail: radilgazin@gmail.com

СУСЫМАЛЫ МАТЕРИАЛДЫ ОҢТАЙЛЫ МӨЛШЕРЛЕУ МАССАЛЫҚ АҒЫНДЫ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Зерттеу цемент, көмір және фармацевтика салаларына бағытталған өңдеу өнеркәсібіндегі Сусымалы материалдарды тасымалдау және мөлшерлеудің өндірістік жүйелеріне бағытталған. Дәрекі және жұқа мөлшерлеу әдісін ұсынады, мұнда дәрекі мөлшерлеу көлемді немесе гравиметриялық түрде жүзеге асырылады, ал жұқа мөлшерлеу салмаққа дәл жету үшін соңғы камераны пайдаланады. Дәрекі және жұқа мөлшерлеу процедуралары Bulk Good Laboratory Plant (BGLP) зертханалық қондырғысында сипатталған, мұнда материал пластикалық түйіршіктер болып табылады. Мақалада DEM әдісін (дискретті элементтерді модельдеу) қолдана отырып, жұқа мөлшерлеу компьютерлік модельдеу ұсынылған. Модельдеу нәтижелері диспенсердің ашылу бұрышы мен ротордың айналу жылдамдығының түйіршіктердің өлшенген салмағына әсерін талқылайды. Ұсынылған әдістеменің дозалау дәлдігін жақсарту және жұқа дозалау процесінде қадамдық кедергілерді азайту мүмкіндігі бар.

Дәрекі мөлшерлеу көлемді немесе гравиметриялық түрде жүзеге асырылады, ал жұқа мөлшерлеу салмаққа дәл жету үшін соңғы камераны пайдаланады. Дискретті элементтерді модельдеу

(DEM) әдісін қолдана отырып, жұқа дозаны модельдеуге арналған компьютерлік тәсіл толық сипатталған.

Ұсынылған әдістеме дозалау дәлдігін жақсартуға, қадамдық кедергілерді азайтуға және жұқа дозалау процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Жұмыс кіріспеден бастап нәтижелерді ұсынуға, сондай-ақ болашақ зерттеулердің мүмкін бағыттарын белгілеуге дейінгі зерттеу жоспарын ескере отырып ұйымдастырылған.

Кілтті сөздер: дәрекі мөлшерлеу, жұқа мөлшерлеу, дискретті элементтер әдісі, жасанды нейрондық желі, массалық ағынды бағалау.

Кіріспе

Сусымалы материалдарды тасымалдау және мөлшерлеу үшін қолданылатын өндіріс жүйелері өңдеу өнеркәсібінде, атап айтқанда цемент, көмір және фармацевтика өнеркәсібінде кең таралған [1]. Сусымалы материалдарды өңдеу олардың физикалық қасиеттеріне байланысты қиыншылық туғызуы мүмкін. Сусымалы материалды дәл және оңтайлы мөлшерлеу өте маңызды, әсіресе ауытқу аз болған жағдайда. Алайда, сусымалы материалды берудегі қиындықтарға байланысты мұндай дәл мөлшерлеу әрдайым мүмкін емес. Сусымалы материал ағынымен байланысты пайда болатын қиыншылықтарды кең мағынада бөлшектердің бункермен әрекеттесуіне, бөлшектердің бөлшектермен әрекеттесуіне жатқызуға болады. Бункерлер әдетте әртүрлі сусымалы материалдарды сақтау үшін жобаланады және жасалады. Бірақ әртүрлі сусымалы материалдардың физикалық қасиеттері әртүрлі болғандықтан және бункерлер бұл айырмашылықтарды ескеретін етіп жасалмағандықтан, ағынның кедергілері әдетте айқын көрінеді.

Сусымалы материалдың тұтыну моделін анықтау өте қиын мәселе. Дегенмен, сусымалы материалдың мөлшерін екі негізгі тәсіл арқылы зерттеуге болады. Бірінші тәсіл, дәрекі мөлшерлеу кезінде массалық ағынды бағалау үшін қолданылады. Мұнда көлемді қатты зат сұйықтық механикасында қолданылатын схемаға ұқсас бөлшектердің континуумы (үздіксіз бөлшектер жиынтығы) ретінде қарастырылады, оған тән кернеу-деформация қатынасы бар. Екінші тәсіл микроскопиялық түрді қарастырады, яғни әрбір бөлшекті жеке қарастырады және олардың басқа бөлшектермен өзара әрекеттесуін зерттейді. Бұған бөлшектердің әрқайсысы үшін күш, кернеу және жылдамдықты есептеу және үйіндідегі барлық бөлшектерді біріктіру арқылы қол жеткізіледі. Бұл ұсыныс үшін материалдың бүкіл үйіндісін жылжыту үшін дискретті элементтерді модельдеу (DEM) жүргізілуі мүмкін. Алайда, бұл тәсіл өте үлкен есептеу

куатын қажет ететіндіктен, бұл зерттеуде ол дозалау процедурасында дәл дозалау аспектісін жүзеге асыру үшін ғана қолданылады.

Материалдар мен әдістер

Бұл зерттеуде біз сусымалы материалдың дәрежі дозасын көп камералы, жалпы салмағы жоғары және ротордың айналу жиілігі жоғары деп анықтаймыз. Екінші жағынан, жұқа мөлшерлеу бір камералы, жалпы салмағы аз және ротордың айналу жиілігі төмен деп анықталады. Әрі қарай, біз сәйкесінше дәрежі және жұқа мөлшерлеу үшін математикалық модельдеу мен DEM модельдеуге негізделген жаңа әдістемені ұсынамыз. Екі әдісте сусымалы материалдардың шығынын бағалайды және дәл мөлшерлеу әдісін, атап айтқанда айналмалы клапан арқылы массалық ағынды бағалауды шығарады. Дозалау режиміне әсер ететін сусымалы материалдың массалық шығыны өрескел мөлшерлеу үшін сандық түрде бағаланады. Жұқа мөлшерлеу үшін бұл массалық ағынды сандық бағалау DEM модельдеу арқылы жүзеге асырылады. Сандық модельдеу нәтижелері кейіннен жасанды нейрондық желілерді (ЖНЖ) қолдана отырып, сусымалы материалды тұтыну функциясын жуықтау үшін қолданылады.

DEM модельдеу арқылы мөлшерлеу кезінде тамақ және химия өнеркәсібінде жиі қолданылатын ұнтақ материалдарға көп көңіл бөлінеді [2]. Алайда, ұнтақ материалдармен салыстырғанда сусымалы материалдың бөлшектерінің мөлшері 1,25 мм-ден 2,00 мм-ге дейін радиусқа байланысты өзгереді.

Сусымалы материалдарды мөлшерлеу әдістемесін екі түрлі тәсілге бөлуге болады: көлемді және гравиметриялық мөлшерлеу. Көлемді мөлшерлеу, мөлшерлеу құрылғысындағы материалдың көлемімен анықталады, біздің жағдайда бұл айналмалы клапан. Сондықтан қажетті масса материалдың тығыздығына байланысты. Демек, материалды ауыстыру кезінде массалық ағынды дәл бақылау үшін, дозалау жүйесін қайта параметрлеу қажет болады.

Екінші жағынан, гравиметриялық мөлшерлеу кезінде жалпы немесе таза салмақты өлшеу үшін таразылар қолданылады. Осы өлшеу негізінде дозалау құрылғысын басқару, сондай-ақ әртүрлі материалдарды дәл мөлшерлеу жүзеге асырылады. Кемшіліксіз басқару жүйесінің процедурасы дәрежі және жұқа мөлшерлеу режимдері арасында динамикалық ауысу болар еді. Бұл жағдайда ықтимал шешім-Siemens siwarex өлшеу модулі, ол дәрежі және жұқа дозалау арасында динамикалық түрде ауысады [3]. Бұл стандартты шешімнің негізгі кемшілігі – қайта-толтыру процесі кезіндегі салмақтың күрт өзгерісі әсерінен өлшеу сигналында секірулердің пайда болуы. Бұл сатылы кедергілерді осы стандартты шешіммен дұрыс өңдеу мүмкін емес. Сондықтан, бұл бөлімде біз сатылы кедергілер мәселесін шешетін дәрежі дозалау үшін тұйықталған басқару жүйесіндегі массалық ағынды бағалау әдістемесін сипаттаймыз.

Көлемді дозалауға арналған сынақ алаңы Bulk Good Laboratory Plant(BGLP) қондырғысы төрт түрлі модульден тұратын сусымалы материалдарды қайта өңдеудің өндірістік операциясын көрсетеді. BGLP-дегі төрт модуль – жүктеуді, сақтауды, өлшеуді және толтыруды орындайды. Сонымен қатар, бүкіл қондырғының модульдік құрылымы бар, онда қайта конфигурациялау алгоритмі барлық төрт станцияның ағымдағы құрастыру орнын үздіксіз қадағалайды және сәйкес жұмыс режимін қамтамасыз етеді. BGLP-де қолданылатын материал-бұл пластикалық түйіршіктер. Пневматикалық жетегі бар жапқыш материалды бункерге шығарады. Бункер айналмалы өлшеу клапанымен және қозғалтқышпен бірге үш жүктеме сенсорымен өлшенетін жүйеге бекітілген. SIWAREX one the on Hand өлшеу құрылғысы жүктеме датчиктерінен деректерді өңдейді және аналогтық сигналды саралайды. Дегенмен, SIWAREX құрылғысы PLC материалының нақты салмағын қамтамасыз ету үшін дәрекі мөлшерлеу кезінде ғана қолданылады.

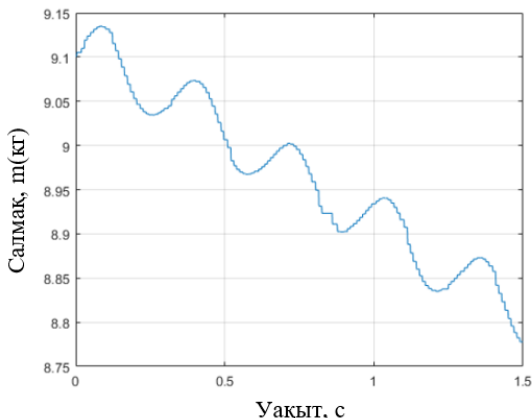


Сурет 1 – BGLP өлшеу және мөлшерлеу модулі

Барлық өлшеу модулі Siemens PLC негізіндегі басқару жүйесімен басқарылады, онда siwarex блогы мен мөлшерлеу құрылғысының жиілік түрлендіргіші profinet-fieldbus жүйелері арқылы өзара әрекеттеседі. Бұл конфигурацияда алты камералы ротордан тұратын мөлшерлеу клапаны бір камераға 60-70 г материалды мөлшерлеуге қабілетті. Демек, дәрекі

мөлшерлеу әдісі түйіршіктердің массасын, камера сыйымдылығының еселігін мөлшерлеуге мүмкіндік береді.

Дозалаудың бірінші кезеңі, әрине, өлшеу траекториясын талдау болып табылады. Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы 1500 айн/мин диспенсерді, 1:48 беріліс коэффициенті бар редукторды және алты камералы өлшеу клапанын пайдаланған кезде масса мен уақыт қатынасы 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – 1500 айн/мин кезіндегі диспенсердегі масса сигналы

Бұл физикалық сигналды математикалық түрде теріс көлбеу түзу сызық пен синусоидалы сигналдың тіркесімі арқылы сипаттауға болады

$$f(t) = at + b + a_1 \sin(\omega t), \quad (1)$$

мұндағы a массалық ағын ретінде анықталады. Бұл материалдың тығыздығымен және ротордың бұрыштық айналу жылдамдығымен сипатталады. Бұрыштық жылдамдық ω мәнімен анықталады, b -әрбір дозалау фазасы үшін материалмен толтырылған бункердің бастапқы салмағы. a_1 синусоидалы бөлігінің амплитудасын бірінші (1) теңдеу дифференциалымен келесідей анықтауға болады:

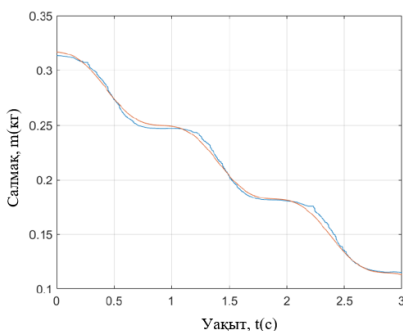
$$a_1 = \frac{\frac{df}{dt} - a}{\omega \cos(\omega t)} \quad (2)$$

$t = 0$ с уақытында физикалық жүйемен салыстырғанда қисықтың көлбеуі 0 болады. Бұл бақылау екінші (2) теңдеуді жеңілдетеді:

$$a_1 = -\frac{a}{\omega} \quad (3)$$

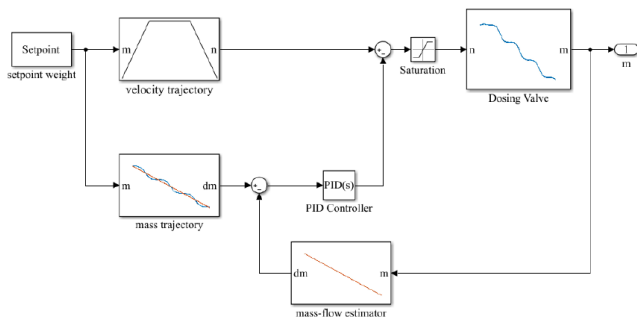
Нәтижесінде біз дәрекі мөлшерлеу үшін массалық ағынның шамасын аламыз. Екінші суретте көрсетілгендей, массалық ағын қисығы бункердің толтыру деңгейіне байланысты өзгеруі мүмкін, немесе дозалау процесінде бункердің алдындағы дозалау станциясынан кедергі пайда болған жағдайда, массалық ағын шамасы қажет болады. Демек, бұл ауытқуды есепке алу және басқару жүйесінде ауытқусыз қисықты қамтамасыз ету үшін масса ағынының траекториясы масса ағынының шамасымен ауыстырылады.

Бағалау нәтижесін көрсету үшін бастапқы массалық ағын сигналы ротордың бұрыштық жылдамдығымен корреляцияланған іріктеу жиілігімен, эквидистантты үлгілермен құрастырылады. Содан кейін бұл үлгілер a айнымалысын анықтау және 3-суретте көрсетілген идеалды массалық ағын сигналын бағалау үшін қолданылады. Бақыланатын модельденген массалық ағын сигналы (қызыл сызық) нақты массалық ағын сигналына (көк сызық) өте жақын.



Сурет 3 – 482 айн/мин нақты және модельденген массалық сигнал.

Дәрекі дозалаудың барлық процесі жабық тізбекті басқару құрылымында жүзеге асырылады. Басқару тізбегі 4-суретте көрсетілгендей 2 сатылы контроллер түрінде жасалады.



Сурет 4 – Дөрекі мөлшерлеу үшін басқару тізбегінің схемасы

Ол онлайн массалық ағынды бағалау жүйесінен, қажетгі салмақ жоғалтуға негізделген жылдамдық траекториясын жасайтын алдын ала бақылау жүйесінен, сондай-ақ PID реттегішінен тұрады. 4-суреттегі 1-мен белгіленген басқару тізбегінің шығыс сигналы дөрекі дозалау салмағы әрекет ететін кездегі мөлшерлеу клапанның жылдамдығын білдіреді. Бірінші қадам – жылдамдықтың сәйкес траекториясын анықтау, ол әр камерада салмақ жоғалтуға тікелей байланысты. Кейіннен жылдамдық траекториясына сүйене отырып, алдыңғы бөлімде анықталған массалық ағынның шамасымен салыстырылатын массалық ағынның траекториясы жасалады. Демек, PID басқару тізбегі өлшеу клапанын басқару үшін масса траекториясын және жылдамдық траекториясын пайдаланады.

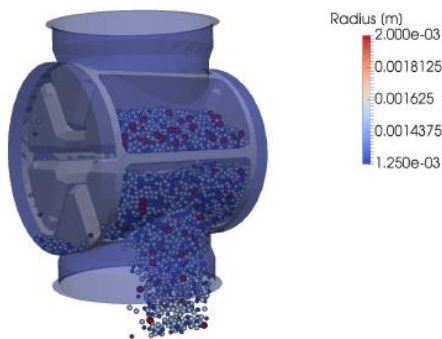
Айтылған материалды ескере отырып жұқа және дөрекі мөлшерлеу әдістерін кезектеп орындаған ең дұрыс шешім болып табылады деген ой түюге болады. Алайда, осы мақалада келтірілген жұқа дозалау, қажетті мөлшерлеу салмағына жету үшін тек соңғы мүмкін камераны пайдаланады. Демек, берілген конфигурацияда дәл мөлшерлеу үшін диспенсердің салмағы $0 < m < 70\text{g}$ диапазонында болады. Дәл мөлшерлеу дозалау камерасын белгілі бір бұрышқа ашқан кезде жүзеге асырылады, содан кейін ол бастапқы орнына оралады. Диспенсердің салмағы камераның ашылу бұрышына және айналу жылдамдығына байланысты өзгеруі мүмкін. Дәл дозалау үшін диспенсердің ашылу бұрышы, айналу жылдамдығы мен салмағы арасындағы бұл өзгерісті анықтау қажет. Бұл өзгеріске көз жеткізу үшін жұқа мөлшерлеу процесін компьютерлік модельдеу жүзеге асырылды.

DEM – бұл модельдеудің белгілі әдістемесі, ол бір модельдеу аймағында көптеген (бірнеше миллионға дейін) бөлшектерді модельдеуге мүмкіндік береді, бірақ өте қарқынды есептеулерді қажет етеді. Бұл бөлшектердің дискретті және үзіліссіз қозғалыстары үшін сандық есептеу

әдісін қолданатын сусымалы материалдарды модельдеудің стандартты әдісі. Бұл бөлшектер материалдың әртүрлі қасиеттері бар сфералар түрінде берілген. Әрбір жеке бөлшектің күштері, қозғалысы немесе жылдамдығы Ньютонның қозғалыс заңдарын қолдана отырып, тривиальды түрде есептеледі.

Бұл мақалада DEM айналмалы мөлшерлеу клапаны арқылы пластикалық түйіршікті материалды жұқа мөлшерлеу процедурасын модельдеу үшін қолданылады. Liggghts бағдарламалық құралының көмегімен белгілі бір материалды ғана емес, сонымен бірге бөлшектер өзара әрекеттесетін қозғалмалы геометриялық пішіндерді де модельдеуге болады [4].

Қолданылатын материалдың параметрлері I кестеде келтірілген, олар әрқашан бөлшек-бөлшек өзара әрекеттесу үшін және бөлшектер геометриясы.



Сурет 5 – Dem модельдеуіндегі, мөлшерлеу клапанының схемасы

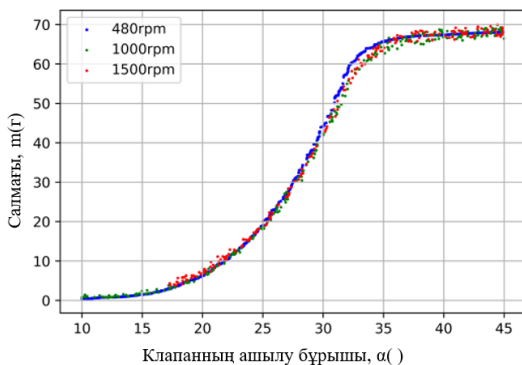
5-суретте көрсетілгендей, бастапқыда модельдеу саласында шамамен 8000 бөлшектері бар екі камера ғана бар. Сонымен қатар, бөлшектердің радиусы мен тығыздығы бойынша бастапқы таралуы да ескеріледі. Бастапқы материал – тығыздығы 571 кг/м^3 , радиусы 1,25 мм-ден 2,00 мм-ге дейінгі түйіршікті пластик гранулалары болып келеді. Нақты материал үшін DEM модельдеу параметрлерін калибрлеу арқылы шынайы модельдеуге қол жеткізіледі.

Кесте 1– Пластикалық түйіршіктерді параметрлеу

Параметр	Бөлшек	Геометрия
Юнг модулі	$5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^7$
Пуассон коэффициенті	0,5	0,5
Қалпына келтіру коэффициенті	0,1 0,2	0,2 1
Үйкеліс коэффициенті	0,8 1,5	1,5 1

Бұл модельдеудің негізгі мақсаты – әр түрлі ашылу бұрыштары мен айналу жылдамдығын қолдана отырып, түйіршіктің қанша салмағын өлшеуге болатындығын анықтау. Сондықтан дозалау процесін көрсететін модельдеу ретін анықтау қажет. Сонымен қатар, әр камерада өлшенетін материалдың тығыздығының өзгеруіне байланысты, нақты қондырғыда байқалғандай, әр модельдеу тізбегіндегі бөлшектердің тығыздығы кездейсоқ түрде 2 % - дан аспайтын ауытқу болады. Тығыздықтың өзгеруі материалдың шаңмен ластануына немесе бөлшектердің қасиеттерінің өзгеруіне байланысты болуы мүмкін. Өлшенген салмақ, ашылу бұрышы және ротордың айналу жылдамдығы модельдеу тізбегімен өлшенеді. Ротордың әртүрлі айналу жылдамдығын бағалау үшін үш модельдеу тізбегі модельденеді.

Аталған модельдеу тізбегінің нәтижесі 6-суретте көрсетілген. Көк, қызыл және жасыл қисықтары бар графикте ротордың айналу жылдамдығы минутына 480, 1000 және 1500 айналым аралығында өзгерген кезде өлшенетін салмақ айтарлықтай есер етпейтіні көрсетілген. Сонымен қатар, суретте өлшеу клапанының ашылу бұрышына байланысты 0-ден 70 г-ға дейінгі мөлшердегі салмақтың өзгеруі көрсетілген.



Сурет 6 – Клапанның айналу жылдамдығының әсері

Жасанды нейрондық желі (ЖНЖ) Y шығыс функциясын жүзеге асырады, сызықтық емес кірістер функциясы X -ті параметрленген «салмақ» бойынша алынады [5]. Бұл зерттеуде біз алдыңғы қабаттағы әрбір нейрон келесі қабаттағы барлық нейрондармен байланысқан тікелей ЖНЖ байланысы бар бір ғана жасырын қабатты қарастырамыз. Яғни егер жасырын өлшем бірліктері жеткілікті болса, олар кез келген үздіксіз функцияны ерікті дәлдікпен көрсете алады [6]. X кірісі бар бір жасырын ЖНЖ қабаты үшін (бұл жағдайда салмақ азаяды) матрицалық жазбада

бірінші жасырын қабатты белсендіру үшін есептеу ережесі келесідей анықталады

$$H = \sigma(WX + b) \quad (4)$$

мұндағы H – жасырын қабатты белсендіру, σ – сызықтық емес активтендіру функциясы, W – кіріс салмақ параметрі (кіріс бірліктерін жасырын бірліктермен байланыстырады) және b – жасырын қабаттың орын ауыстыруы. Сол сияқты, ЖНЖ шығыс қабатынан есептеуді есептеуге болады. Толық желілік функцияны екі есептеуден келесідей біріктіруге болады

$$Y = \phi(U[\sigma(WX + b)] + c) \quad (5)$$

мұндағы Y – желіден шығатын сигнал (бұл жағдайда ашылу бұрышы), ϕ – шығыс қабатының белсендірілуін білдіреді, U - шығыс салмағының параметрі (жасырын блоктарды шығыс блоктарымен байланыстырады), ал c - шығыс қабатының ауытқуы. Регрессия есептері үшін әдетте үздіксіз функцияның жуықтауына байланысты сызықтық шығыс функциясы қолданылады. Түзетілген сызықтық бірліктерді белсендіру функциясы (Relu) [7]-де көрсетілген. DEM модельдеу арқылы жасалған оқу жиынтығын ескере отырып, ЖНЖ моделі төменде келтірілген квадраттағы орташа шығындар функциясын азайту арқылы оқытылады

$$Loss, L = \|(Y - T)\|^2 \quad (6)$$

мұндағы Y – ЖНЖ үлгісіндегі әрбір деректер үлгісі үшін болжам, ал T – мақсатты көрсеткіш. ЖНЖ моделін оқыту үшін салмақ параметрлері бойынша шығындар функциясының ішінара туындылары есептеледі. Осыдан кейін салмақ параметрлері градиентті түсіруді оқытудың итеративті процедурасы арқылы жаңартылады [6]. Өнімділікті арттыру үшін біз Adam оңтайландыру әдісін [8], градиентті түсіруді оқыту әдісінің нұсқасын және Drop Out тәсілін қолданамыз [9]. Таңдалған жасырын өлшем бірліктерінің саны 10 болды, бұл орташа квадраттық көрсеткіштің 2.0254 ауытқу мәнін берді.

Нәтижелер мен талқылау

Дөрекі және жұқа дозалаудың екі әдісі де дозалау клапанын басқаратын PLC-де жүзеге асырылуы керек. NMI BGP-ге қажетті салмақты енгізгеннен кейін PLC-дегі алгоритм массалық ағынды, сондай-ақ жылдамдық траекториясын анықтайды [10]. Дөрекі мөлшерлеу процесі әрқашан бір камераның салмағының еселенген мөлшерін ғана өлшейді және соңғы камераға тоқтайды. Осылайша, қазіргі уақытта дөрекі мөлшерлеу кезіндегі салмақ айырмашылығы $0 > m > 70$ г құрайды.

Дөрекі дозалау мен жұқа дозалау арасында үздіксіз ауысу қажет. Қазіргі уақытта дозалаудың екі әдісі арасындағы тегіс ауысу жүзеге

асырылмайды, өйткені жұқа дозалау процесін бастамас бұрын ротордың нақты орнын анықтау қажет. Сондықтан ротордың қажетті орнын алуға мүмкіндік беретін калибрлеу процедурасы жасалды. Калибрлеу процедурасы ротордың есептік орнын массалық ағын жолынан шығарады. Ротордың орнын анықтағаннан кейін ротор дәл мөлшерлеу үшін оңтайлы күйде автоматты түрде тоқтайды.

Мұнда siwagex модулі, дәрекі дозалау және BGLP жұқа дозалау арқылы стандартты дозалау процедурасының нәтижелері берілген. Стандартты әдістеме үшін орташа абсолютті қателік ұсынылған әдістемеге қарағанда шамамен үш есе жоғары, бұл оның жоғары дәлдігін көрсетеді. Қажетті 500 г салмақта орташа абсолютті қателік және өрескел мөлшерлеу үшін стандартты ауытқу II кестеде көрсетілгендей толық камераның салмағының жартысына жақын.

Кесте - 2 Дәрекі, стандартты және жұқа мөлшерлеу кезіндегі қателік.

Сынама	Стандартты мөлшерлеу (500г)	Дәрекі мөлшерлеу (500г)	Жұқа мөлшерлеу (25г)
1	66.1	9.6	1.4
2	70.5	7.5	7.4
3	67.4	65.0	3.6
4	69.0	10.4	2.9
5	68.4	9.3	3.0
6	68.1	66.8	3.9
7	67.1	6.7	2.2
8	71.6	66.6	6.6
9	69.0	7.8	1.9
10	70.1	6.7	1.4
Орташа абсолютті ауытқу	68.73	25.64	3.33
Стандартты ауытқу	14.01	25.7	2.24

Дәрекі мөлшерлеу кезіндегі қателік әр түрлі болады, өйткені мөлшерлеу процесі толығымен жабық алдыңғы камерамен аяқталады немесе бірнеше градусқа ашық қалады, нәтижесінде барлық материал ағып кетеді.

Ақырында, дәл дозалау процесінде қателік өте аз, II кестеден көрініп тұрғандай орташа абсолютті қателік небәрі 3,33 г, ал стандартты ауытқу 2,24 г құрайды, яғни доза қажетті салмаққа өте жақын.

Қорытынды

Бұл зерттеу салмақ бойынша оңтайлы мөлшерлеу үшін дәрекі және жұқа дозалаудың жаңа әдістемесін ұсынады. Екі тәсіл де гравиметриялық дозалау сценарийінде кәдімгі мөлшерлеу клапаны арқылы үлкен өлшемді материалды мөлшерлеудің тиімді әдісі болып табылады. Дәрекі мөлшерлеу дозаланатын өнімнің қажетті салмағына жетудің жылдам әдісі ретінде қолданылады. Бірақ бұл соңғы дозаны алу үшін жоғары дәлдіктегі жұқа дозамен бірге соңғы дозаға дейінгі алдын ала қадам ретінде ғана әрекет етеді. Массалық ағын мен жылдамдықтың траекториясын алдын-ала өңдеу, сондай-ақ масса бойынша ағынды үздіксіз бағалау арқылы өрескел мөлшерлеу үшін басқару тізбегі жасалады. Бұл басқару тізбегі массалық ағынның оңтайлы және нақты траекториясы арасындағы ауытқуды анықтайды және кейіннен өлшеу клапанының жылдамдығын басқарады. Ұсынылған дәл мөлшерлеу әдісі DEM модельдеу моделіне негізделген, ол дозалау процедурасының соңғы камерасындағы салмақтың бір бөлігін ғана өлшейді. Қолданылатын түйіршікті материалды калибрлеу, сондай-ақ ЖНЖ-дегі өлшеуіш клапанның түпнұсқа сызбалары дәл имитациялық модельдеуді қамтамасыз етеді.

Болашақ зерттеу бағыттары екі тәсілді де бір кешенді дозалау процедурасына толық біріктіруді қамтиды. Сонымен қатар, өлшеу камерасындағы шаң және әртүрлі материалдарды пайдалану сияқты факторлардың әсері зерттеледі.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **D. Schulze**, Powders and bulk solids : Behavior, characterizatон, storage and flow / Dietmar Schulze ; [co-translator : J"org Schwedes]. – Berlin: Springer, 2008.

2 **D. Schulze**, Flow properties of bulk solids, Powders and Bulk solids: Behavior, characterization, storage and flow, P. 35–74. – 2008.

3 **O. I. Imole, D. Krijgsman, T. Weinhart, V. Magnanimo, B. E. Ch'avez Montes, M. Ramaioli, and S. Luding**, Experiments and discrete element simulation of the dosing of cohesive powders in a simplified geometry, Powder Technology, Vol. 287, P. 108–120. – 2016.

4 **Siemens, A.G.**, Weighing systems : Electronic Weighing System, 2017.

5 **C. Kloss, C. Goniva, A. Hager, S. Amberger, and S. Pirker**, Models, algorithms and validation for opensource DEM and CFD-DEM, // Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal. Vol. 12. No. 2/3, P. 140. –2012.

6 **D. J. C. MacKay**, Information theory, inference, and learning algorithms. Cambridge UK and New York : Cambridge University Press, 2003.

7 **C. M. Bishop**, Pattern recognition and machine learning. – Springer, 2006.

8 **M. D. Zeiler, M. Ranzato, R. Monga, M. Mao, K. Yang, Q. V. Le, P. Nguyen, A. Senior, V. Vanhoucke, J. Dean et al.**, On rectified linear units for speech processing, // in Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2013 IEEE International Conference on, 2013, P. 3517–3521.

9 **D. Kingma and J. Ba**, Adam : A method for stochastic optimization, //arXiv preprint arXiv:1412.6980, – 2014.

10 **N. Srivastava, G. E. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, and R. Salakhutdinov**, Dropout : a simple way to prevent neural networks from overfitting, Journal of Machine Learning Research. Vol. 15. No. 1, P. 1929–1958. – 2014.

11.01.24 ж. баспаға түсті.

12.01.24 ж. түзетулерімен түсті.

01.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

**Р. А. Әділғазы, С. Х. Есенбаев, Ж. Б. Есмұхамбет,*

В. А. Иванов, К. К. Смагулова

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Республика Казахстан, г. Караганда.

Поступило в редакцию 11.01.24.

Поступило с исправлениями 12.01.24.

Принято в печать 01.03.24.

ОПТИМАЛЬНОЕ ДОЗИРОВАНИЕ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ОЦЕНКА МАССОВОГО РАСХОДА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Исследование сосредоточено на производственных системах транспортировки и дозирования сыпучих материалов в обрабатывающей промышленности, ориентированных на цементную, угольную и фармацевтическую промышленность. Грубое и тонкое дозирование обеспечивает метод, при котором грубое дозирование выполняется объемно или гравиметрически, в то время как тонкое дозирование использует конечную камеру для точного достижения веса. Грубые и тонкие процедуры дозирования

описаны в лабораторной установке Bulk Good Laboratory Plant (BGLP), где материалом являются пластиковые гранулы. В статье представлено компьютерное моделирование тонкой дозировки с использованием метода DEM (моделирование дискретных элементов). В результатах моделирования обсуждается влияние угла открытия дозатора и скорости вращения ротора на измеренный вес гранул. Предлагаемая методика обладает способностью повышать точность дозирования и уменьшать ступенчатые помехи в процессе тонкого дозирования.

Грубое дозирование выполняется объемно или гравиметрически, в то время как тонкое дозирование использует конечную камеру для точного достижения веса. Полностью описан компьютерный подход к моделированию тонкой дозы с использованием метода моделирования дискретных элементов (DEM).

Предлагаемая методика позволяет повысить точность дозирования, снизить шаговые барьеры и оптимизировать процесс тонкого дозирования. Работа организована с учетом плана исследования, от введения до представления результатов, а также определения возможных направлений будущих исследований.

Ключевые слова: грубая дозировка, тонкая дозировка, метод дискретных элементов, искусственная нейронная сеть, оценка массового расхода.

*R. A. Adilgazy, S. H. Esenbaev, Zh. B. Yesmukhambet,

V. A. Ivanov, K. K. Smagulova

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov,

Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Received 11.01.24.

Received in revised form 12.01.24.

Accepted for publication 01.03.24.

OPTIMAL DOSING OF BULK MATERIAL MASS FLOW ESTIMATION AND MATHEMATICAL MODELING

The research focuses on production systems for the transportation and dosing of bulk materials in the manufacturing industry, focused on the cement, coal and pharmaceutical industries. Coarse and fine dosing provides a method in which coarse dosing is performed volumetrically or gravimetrically, while fine dosing uses a finite chamber to accurately achieve weight. Coarse and fine dosing procedures are described in the Bulk Good Laboratory Plant (BGLP), where the material is plastic granules. The article presents a computer simulation of a fine dosage using the DEM method (modeling of discrete elements). The simulation results discuss the effect of the dispenser opening angle and the rotor rotation speed on the measured weight of granules. The proposed technique has the ability to increase the accuracy of dosing and reduce step-by-step interference in the process of fine dosing.

Coarse dosing is performed volumetrically or gravimetrically, while fine dosing uses a finite chamber to accurately achieve weight. A computer approach to fine dose modeling using the discrete element modeling (DEM) method is fully described.

The proposed technique makes it possible to increase the accuracy of dosing, reduce step barriers and optimize the process of fine dosing. The work is organized taking into account the research plan, from the introduction to the presentation of the results, as well as determining possible directions for future research.

Keywords: coarse dosage, fine dosage, discrete element method, artificial neural network, mass flow estimation.

Теруге 06.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс №4204

Сдано в набор 06.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4204

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz