УДК 631.879.3:66.066.7.022.63

DOI: 10.35809/2618-8279-2019-3-13

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОСАДИТЕЛЬНОЙ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УДОБРЕНИЙ-МЕЛИОРАНТОВ

OPTIMIZATION OF OPERATIONAL MODES OF SEDIMENTARY CENTRIFUGE TO RECEIVE FERTILIZER- IMPROVER

М.И. Филимонов^{1,2},
А.Е. Новиков^{1,2}, доктор технических наук, доцент,
Т.Г. Константинова¹,
А.А. Ерохина³

M.I. Filimonov^{1,2},
A.E. Novikov^{1,2}, doctor of technical sciences, associate professor,
T.G. Konstantinova¹,
A.A. Erokhina³

¹Всероссийский научно-исследовательский институт
орошаемого земледелия,

¹All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture,

²Волгоградский государственный технический университет,

²Volgograd State Technical University,

³Волгоградский энергетический колледж

³Volgograd Energy College

В условиях с промывным режимом почв активно протекают процессы отчуждения кальция из почвенно-поглощающего комплекса с инфильтрационными водами и растениями. Проводимые в России работы по химической мелиорации почв, в частности по внесению известковых удобрений, компенсируют не более 8% этого биогенного элемента, что обусловлено технологической трудоемкостью и дороговизной их производства. В сложившихся обстоятельствах существует проблема по закислению почв, которая особо актуальна для Центрально-Черноземной зоны, где площадь таких почв более 50%. Альтернативой традиционным способам производства известковых удобрений может быть переработка кальцийсодержащих не токсичных сточных вод предприятий химического комплекса, имеющих высокий экономический и экологический потенциал. Проведенные исследования по анализу сточных вод Волгоградского предприятия АО «Каустик» выявили перспективу использования их осадка в качестве известкового удобрения-мелиоранта. Методами имитационного моделирования было доказано, что при использовании осадительных маятниковых центрифуг при малых нагрузках по расходу (100-200 л/час) достигается 100% разделение стоков на жидкую фазу и твердую фракцию, при этом номинальный диаметр уловленных частиц составляет от 50 до 100 мкм. С увеличением расхода степень очистки снижается, что обусловлено турбулизацией осевого потока. При расходе 400 л/час и частоте вращения ротора 350 об/мин номинальный диаметр частиц, улавливаемых на 100%, составляет 290 мкм, а при частоте вращения ротора 750 об/мин – 175 мкм, что обеспечивает рост интегральной степени очистки суспензии с 70 до 90%.

Under conditions with a washing regime of soils, the processes of the alienation of calcium from the soil-absorbing complex with infiltration waters and plants actively proceed. Work on soil reclamation in Russia, in particular on the introduction of lime fertilizers, is compensated for not more than 8% of this nutrient element, which is due to the technological complexity and high cost of their production. In the circumstances, there is a problem of soil acidification, which is particularly relevant for the Central Black Earth zone with an area of such soils more than 50%. An alternative to traditional methods for the production of lime fertilizers can be the processing of calcium-containing non-toxic wastewater from chemical enterprises with a high economic and ecological potential. Conducted studies on the analysis of wastewater of the Volgograd enterprise JSC «Kaustik» revealed the prospect of using their sludge as a lime fertilizer, ameliorant. Using simulation methods, it was proved that using precipitation pendulum centrifuges at low flow loads (100-200 l/h), 100% separation of effluents into liquid phase and solid fraction is achieved, with a nominal diameter of captured particles ranging from 50 to 100 microns. As the flow rate increases, the cleaning degree decreases, which is caused by axial flow turbulization. At a flow rate of 400 l/h and a rotor speed of 350 rpm, the nominal particle diameter captured at 100% is 290 microns, and at $n = 750$ rpm – $d_n = 175$ microns, which ensures an increase in the integral degree of purification of the suspension from 70 to 90%.

Ключевые слова: отходы химического производства, закисление почв, химическая мелиорация почв, центрифугирование, кальциевые удобрения-мелиоранты, имитационное моделирование

Key words: chemical waste, soil acidification, soil chemical amelioration, centrifuging, calcium fertilizer-ameliorants, imitation modeling

Введение. Энергетика и динамика почвообразования, а также сопутствующие им процессы в грунтах обусловлены их водным и тепловым режимами. Причем почвенная влага, которая главным образом выступает в качестве регулятора теплового баланса и других режимов почв, во многом определяет их агрофизические свойства и уровень эффективного плодородия, так как именно почвенная влага лимитирует интенсивность и вектор протекания процессов биохимической трансформации органического вещества, формирование количества и уровня качества урожая сельскохозяйственных культур. При этом водный режим почв определяется водным балансом, который вследствие почвенно-климатических разностей неоднороден для различных территорий. Таким образом, в условиях повышенных техногенных нагрузок при сельскохозяйственном производстве растениеводческой продукции фундаментальные вопросы плодородия почв, формирования и поддержания стабильности и продуктивности агроценозов, а также их экологии невозможно рассматривать отдельно от водного и пищевого режимов почв [4, 5, 8].

Так, на территориях России с промывным типом водного режима (например, на территории Центрально-Черноземной зоны) из-за отсутствия организованных мероприятий по химической мелиорации почв, в том числе с государственной поддержкой, значительно возросли потери биогенных элементов (N, Ca, Mg, S и других). По результатам многолетних исследований ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, в настоящее время количество применяемых извест-

ковых удобрений компенсирует не более 8% кальция, отчуждаемого из почвы с инфильтрационными водами и растениями. В связи с этим возникла актуальная проблема по закислению почв России, в их числе почти 54% черноземов в Центрально-Черноземной зоне [1, 2].

По данным многолетних исследований того же института, первым и необходимым мероприятием при разработке системы удобрения севооборота является известкование кислых почв, что обусловлено не только рентабельностью производства сельскохозяйственных культур, но и широким спектром природоохранного действия кальциевых удобрений на экосистему, в том числе возможностью использования отходов производства в качестве удобрений-мелиорантов, а также ликвидации соответствующих полигонов. Многоотнажные неорганические отходы химических производств имеют высокий экономический и экологический потенциал. Он обусловлен как составом отходов, так и их неразрывной связью с природными объектами [3, 7].

Опыт мирового земледелия показывает, что на территориях с промывным режимом почв протекают процессы обеднения их основаниями – главным образом кальцием. В связи с этим проведение мероприятий по химической мелиорации почв должно быть обязательным и регулярным, так как реакция среды и насыщенность почвенного поглощающего комплекса основаниями (которые являются одними из фундаментальных показателей почвенного плодородия) во многом определяют эффективность

агротехники возделывания сельскохозяйственных культур [6, 11, 12, 13].

Переработка промышленных отходов предприятий химического комплекса является наиболее эффективным способом получения кальцийсодержащих удобрений.

Цель исследования заключалась в анализе сточных вод при производстве бытовой химии на Волгоградском предприятии АО «Каустик» и моделировании процесса выделения из них кальциевого шлама для химической мелиорации кислых почв.

Материалы и методы. Определение химического состава осадка шламовой суспензии проводили в лабораторных условиях с помощью химического анализа с применением Трилона Б, азотнокислой ртути (II) и азотной кислоты.

Приведение влагосодержания осадка к нормальным условиям (до 20% по массе) осуществляли при температуре 90°C под вакуумом в сушильном шкафу ВШ-0,035М. Изменение массы высушиваемого осадка контролировали в непрерывном режиме с помощью лабораторных весов ВК1500.1. Сушку осадка прекращали, когда показания весов не изменялись в течение 5 минут.

Анализ фракционного состава (дисперсность) осадка шламовой суспензии проводили ситовым методом.

Для определения эффективности выделения твердого осадка из шламовой суспензии рассола хлорида натрия использовали имитационную модель центробежного разделения неоднородных систем, основанную на детерминированных и стохастических подходах.

Рисунок 1 – Технологическая схема очистки рассола хлорида натрия:
1 – теплообменник, 2 – реактор с мешалкой, 3 – осветлитель, 4 – маятниковая центрифуга

а
Рисунок 2 – Химический (а) и фракционный (б) состав осадка шламовой суспензии

Значение номинального размера частиц, улавливаемых на 100%, рассчитывали исходя из условия гравитационного осаждения, при котором принималось равенство времени пребывания частиц в аппарате времени их осаждения.

Результаты и обсуждение. Основному производству конечной продукции предшествует стадия предварительной очистки сырья, функциональная схема которой представлена на рисунке 1.

Во время работы установки рассол хлорида натрия нагревают до 60°C в теплообменнике, после чего он поступает в реактор для смешения с флокулянт, в качестве которого используют полиакриламид. Его действие направлено на укрупнение механических частиц, находящихся в рассоле.

Полученная реакционная смесь подается в осветлитель, где с помощью эжекционных сопел организован восходящий поток по спиральной траектории, при этом укрупненные механические примеси поднимаются вместе с жидкой фазой в верхнюю часть аппарата. По мере движения потока скорость частиц замедляется и, достигнув определенного уровня, становится равной нулю. В этой зоне наступает динамическое равновесие частиц за счет равенства сил тяжести и подъемной силы рассола. Таким образом в аппарате образуется слой плавающего осадка, который служит в качестве шламового фильтра для достижения высокой степени очистки рассола. По мере проведения процесса, частицы твердой фазы продолжают укрупняться, что приводит к нарушению динамического равновесия сил, и при достижении критического значения массы частиц они начинают оседать на дно аппарата.

Для нормальной работы осветлителя необходимо периодически выводить твердый осадок, скапливающийся в нижней части аппарата. С этой целью в схеме предусмотрено удаление осадка путем его вымывания водой с образованием шламовой суспензии, которая подлежит утилизации в прудах накопителях.

Рисунок 3 – Результаты математического моделирования

Лабораторные исследования компонентного и фракционного составов осадка (рисунок 2), полученного после сушки шламовой суспензии, показали, что его можно использовать в качестве известкового удобрения-мелиоранта для восстановления декарбонизированных почв.

Для эффективного выделения осадка из шламовой суспензии при проведении исследований использовали осадительную центрифугу маятникового типа. Конструкция этих машин позволяет разделять суспензии, в состав которых входят слипающиеся твердые частицы, создающие неравномерный слой осадка,

провоцирующий повышение вибрационной нагрузки.

В работах [7, 9, 10] был представлен алгоритм расчета, позволяющий определять эффективность работы центрифуг в широком диапазоне технологических режимов. Для достижения цели данной работы, используя имитационную модель центробежного осаждения частиц твердой фазы в отстойной центрифуге [9, 10], на основании исходных данных, представленных в работе [7], и варьируемых параметров были произведены соответствующие расчеты эффективности разделения шламовой суспензии (рисунок 3).

Заключение. Эффективное разделение шламовой суспензии в маятниковой центрифуге возможно при малых значениях расхода жидкости – 100-200 л/час, при этом дальнейшее увеличение расхода приводит к резкому снижению степени очистки, что обусловлено турбулизацией осевого потока, который, образуя завихрения, поднимает и уносит частицы, осевшие на стенку ротора.

Увеличение угловой скорости ротора до 750 об/мин при этом же значении расхода суспензии способствует снижению номинального диаметра частиц, улавливаемых на 100%, до 175 мкм и, как следствие, приводит к увеличению интегральной степени очистки с 0,7 до 0,9.

Библиографический список

1. Вопросы повышения эффективности химической мелиорации почв / Н.И. Аканова, О.В. Гладышева, В.А. Шильников, Н.А. Кирпичников // Вестник АГУ. - 2018. - Вып. 1 (218). - С. 78-84.
2. Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы / Н.И. Аканова, И.А. Шильников, С.Ю. Ефремова, М.С. Аваков // Проблемы агрохимии и экологии. - 2017. - №1. - С. 28-35.
3. Использование отходов промышленности в качестве известковых удобрений / И.А. Шильников, Н.И. Аканова, Н.А. Зеленов, М.Г. Маренкова // Плодородие. - 2009. - №6. - С. 2-4.
4. Кружилин, И.П. Мелиорация земель - необходимое условие высокого уровня сельскохозяйственного производства / И.П. Кружилин // Вестник российской академии сельскохозяйственных наук. - 2013. - №1. - С. 16-19.
5. Научное обоснование дождевальной техники и режимов орошения сельскохозяйственных культур в Нижнем Поволжье: рекомендации / И.П. Кружилин, В.В. Мелихов, Т.Н. Дронова, Ю.П. Даниленко, А.Г. Болотин, А.А. Новиков, А.Е. Новиков, В.А. Моторин, Д.И. Василюк, Д.А. Болотин, Г.О. Чамурлиев. - Волгоград, ВНИИОЗ, 2015. - 30 с.
6. Некоторые аспекты проблемы известкования кислых почв в современных условиях / И.А. Шильников, Г.Е. Гришин, Н.И. Аканова, Н.А. Зеленов, В.Н. Темников // Нива Поволжья. - 2011. - №1. - С. 87-92.
7. Новиков, А.Е. Моделирование процесса выделения осадка с удобрительно-мелиорирующими свойствами из раствора хлорида натрия в центрифугах / А.Е. Новиков, М.И. Филимонов, М.И. Ламскова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2018. - №3. - С. 300-309.
8. Проектирование и расчет систем дождевания и капельного орошения сельскохозяйственных культур: методическое пособие / В.В. Мелихов, И.П. Кружилин, Н.Н. Дубенок, А.Г. Болотин, А.Е. Новиков, В.Ф. Мамин, А.А. Новиков, Т.Г. Константинова, Д.А. Болотин, Т.С. Кошкарлова, Д.И. Василюк, А.В. Гурба. - Волгоград, РАН, Федеральное агентство науч. организаций, ФГБНУ «Всероссийский НИИ орошаемого земледелия» (ФГБНУ ВНИИОЗ), 2017. - 167 с.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018663743 от 2 ноября 2018 г. Российская Федерация. Программа для расчета технологических параметров отстойной центрифуги / А.Б. Голованчиков, М.К. Доан, М.И. Филимонов // ВолгГТУ. - Оpubл. 2018.
10. Физическое и математическое моделирование процессов центрифугирования: монография / А.Б. Голованчиков, А.Е. Новиков, М.И. Филимонов, М.К. Доан. - Волгоград, ВолгГТУ, 2018. - 157 с.
11. Exploring the role of land degradation on agricultural land use change dynamics / S. Bajocco, D. Smiraglia, M. Scaglione, E. Raparelli, L. Salvati // Science of The Total Environment. - 2018. - Vol. 636, Issue 15. - P. 1373-1381.
12. Manukyan, R.R. Development direction of the soil-formation processes for reclaimed soda of solonetz-solonchak soils of the Ararat valley during their cultivation / R.R. Manukyan // Annals of Agrarian Science. - 2018. - Vol. 16, Issue 1. - P. 69-74.
13. Wastewater treatment and disposal of individual residential buildings in agriculture / A. Novikov, A. Poddubskiy, E. Dugin, O. Podybskaya, M. Filimonov, R. Gurina // 18th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development" (Jelgava, Latvia, May 22-24, 2019): Proceedings. Vol. 18 / Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering. - Jelgava (Latvia), 2019. - P. 397-406.

Дополнительные сведения об авторах:

Максим Игоревич Филимонов, младший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций¹, старший преподаватель кафедры процессы и аппараты химических и пищевых производств², maks.filimonov.1986@mail.ru,

Андрей Евгеньевич Новиков, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций¹, заведующий кафедрой процессы и аппараты химических и пищевых производств², ae-novikov@mail.ru,

Татьяна Геннадьевна Константинова, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций¹, tg.konstantinova.55@mail.ru,

Арина Александровна Ерохина, преподаватель³, erohina_arina@bk.ru

Bibliographic list

1. Issues of increasing the efficiency of chemical soil reclamation / N.I. Akanova, O.V. Gladysheva, V.A. Shilnikov, N.A. Kirpichnikov // Bulletin of ASU. - 2018. - Vol. 1 (218). - P. 78-84.
2. The value of chemical melioration in agriculture and the loss of calcium and magnesium from the soil / N.I. Akanova, I.A. Shilnikov, S.Yu. Efremova, M.S. Avakov // Problems of agrochemistry and ecology. - 2017. - No 1. - P. 28-35.
3. Use of industrial wastes as lime fertilizers / I.A. Shilnikov, N.I. Akanova, N.A. Zelenov, M.G. Marenkova // Fertility. - 2009. - No 6. - P. 2-4.
4. Kruzhilin, I.P. Land reclamation - a necessary condition for a high level of agricultural production / I.P. Kruzhilin // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - 2013. - No 1. - P. 16-19.
5. Scientific substantiation of sprinkling equipment and crop irrigation regimes in the Lower Volga region: recommendations / I.P. Kruzhilin, V.V. Melikhov, T.N. Dronova, Yu.P. Danilenko, A.G. Bolotin, A.A. Novikov, A.E. Novikov, V.A. Motorin, D.I. Vasilyuk, D.A. Bolotin, G.O. Chamurliiev. - Volgograd, VNIIOZ, 2015. - 30 p.
6. Some aspects of the problem of liming acid soils in modern conditions / I.A. Shilnikov, G.E. Grishin, N.I. Akanova, N.A. Zelenov, V.N. Temnikov // Niva Volga. - 2011. - No 1. - P. 87-92.
7. Novikov, A.E. Simulation of sedimentation process with fertilizing and meliorating properties from sodium chloride brine in centrifuges / A.E. Novikov, M.I. Filimonov, M.I. Lamskova // News of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. - 2018. - No 3. - P. 300-309.
8. Design and calculation of irrigation systems and drip irrigation of agricultural crops: a manual / V.V. Melikhov, I.P. Kruzhilin, N.N. Dubenok, A.G. Bolotin, A.E. Novikov, V.F. Mamin, A.A. Novikov, T.G. Konstantinova, D.A. Bolotin, T.S. Koshkarova, D.I. Vasilyuk, A.V. Gurba. - Volgograd, RAS, Federal Agency for Science. organizations, the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (FGBNU VNIIOZ), 2017. - 167 p.
9. Certificate of state registration of computer programs № 2018663743 dated November 2, 2018. Russian Federation. The program for calculating the technological parameters of the settling centrifuge / A.B. Golovanchikov, M.K. Doan, M.I. Filimonov // VSTU. - Publ. 2018.
10. Physical and mathematical modeling of centrifuging processes: monograph / A.B. Golovanchikov, A.E. Novikov, M.I. Filimonov, M.K. Doan. - Volgograd, VSTU, 2018. - 157 p.
11. Exploring the role of land degradation on agricultural land use change dynamics / S. Bajocco, D. Smiraglia, M. Scaglione, E. Raparelli, L. Salvati // Science of The Total Environment. - 2018. - Vol. 636, Issue 15. - P. 1373-1381.
12. Manukyan, R.R. Development direction of the soil-formation processes for reclaimed soda of solonetz-solonchak soils of the Ararat valley during their cultivation / R.R. Manukyan // Annals of Agrarian Science. - 2018. - Vol. 16, Issue 1. - P. 69-74.
13. Wastewater treatment and disposal of individual residential buildings in agriculture / A. Novikov, A. Poddubskiy, E. Dugin, O. Podybskaya, M. Filimonov, R. Gurina // 18th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development" (Jelgava, Latvia, May 22-24, 2019): Proceedings. Vol. 18 / Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering. - Jelgava (Latvia), 2019. - P. 397-406.

Additional information about the authors:

Maxim Igorevich Filimonov, junior researcher of the department of irrigation and reclamation¹, senior lecturer of the department processes and devices of chemical and food industry², maks.filimonov.1986@mail.ru,

Andrey Evgenievich Novikov, senior researcher of the department of irrigation and reclamation¹, head of the department processes and apparatus of chemical and food production², ae-novikov@mail.ru,

Tatyana Gennad'evna Konstantinova, senior researcher of the department of irrigation and reclamation¹, tg.konstantinova.55@mail.ru,

Arina Aleksandrovna Erokhina, teacher³, erohina_arina@bk.ru