

УДК 628.88: 544.773.432

UDC 628.88: 544.773.432

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ДЕСОРБЦИИ ГИДРОГЕЛЯ

INVESTIGATION OF INCREASING THE RATE OF HYDROGEL DESORPTION

Черномазов Семен Алексеевич
Аспирант кафедры механизации животноводства и безопасности жизнедеятельности
РИНЦ SPIN-код: 3319-5744
E-mail: semencernomazov@gmail.com
Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1

Chernomazov Semyon Alekseevich
Graduate student
RSCI SPIN code: 3319-5744
E-mail: semencernomazov@gmail.com
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina, Voronezh, 394087, Russia

Корнев Андрей Сергеевич
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код: 3969-1468
E-mail: kornev.andr@mail.ru
Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1

Kornev Andrey Sergeevich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
RSCI SPIN code: 3969-1468
E-mail: kornev.andr@mail.ru
Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina, Voronezh, 394087, Russia

Актуальной проблемой вентиляционного оборудования применяемого в сельском хозяйстве является образование конденсата в зонах перепада температур. Одним из перспективных способов регулирования влажности в рекуперационных установках, является применение гидрогелевых абсорбирующих элементов. Для повышения скорости десорбции гидрогеля в лабораторных условиях проведены экспериментальные исследования с влагонасыщенным порошком гидрогеля, упакованным в тканевую мембранную оболочку и разделённую на 20 ячеек площадью 25 см² каждая, при этом использовались три образца с сухой массой гидрогеля 160 г, после насыщения водой масса образцов достигала ≈900 г. После чего, образцы помещались в зону хранения, которая представляла собой тёмное помещение без активной циркуляции воздуха при освещённости ≈0 лк. Температура поддерживалась в диапазоне 15–18°C, влажность – 40–60%. Масса образцов фиксировалась каждые 12 часов до полного высыхания. Образцы гидрогеля в мембранной оболочке имели стабильную скорость влагоотдачи в первые 5 дней, в среднем 8–10% в сутки, тогда как у образцов без мембраны скорость влагоотдачи снижалась уже со второго дня, 4 день – 9%, 5 день – 3%, 6 день – 2,3%, 7 день – 1,8%. Подобная динамика высыхания обусловлена возникновением барьерного наружного слоя, задерживающим влагу внутри абсорбента. Полное высыхание образцов в мембране достигнуто на 15 сутки, в то время как открытые образцы сохраняли более 33% влаги даже

An urgent problem of ventilation equipment used in agriculture is the formation of condensate in temperature drop zones. One of the promising ways to regulate humidity in recuperation plants is the use of hydrogel absorbent elements. To increase the rate of hydrogel desorption in the laboratory, experimental studies were conducted with a moisture-saturated hydrogel powder packed in a tissue membrane shell and divided into 20 cells with an area of 25 cm² each, using three samples weighing 160 g, which were saturated with water and then placed in a storage area. The storage area is a dark room without active air circulation with illumination of ≈0 lux. The temperature was maintained in the range of 15-18 °C, humidity – 40-60%. The mass of the samples was recorded every 12 hours until completely dry. The membrane-coated hydrogel samples had a stable moisture loss rate in the first 5 days, averaging 8-10% per day, whereas the samples without a membrane had a decrease in moisture loss rate from the second day, day 4 – 9%, day 5 - 3%, day 6 – 2.3%, day 7 - 1.8%. Such drying dynamics is caused by the appearance of a barrier outer layer that retains moisture inside the absorbent. The complete drying of the samples in the membrane was achieved on day 15, while the open samples retained more than 33% moisture even on day 16, which is also caused by the effect of the barrier layer. The use of a tissue membrane prevented the formation of a barrier layer of over-dried external hydrogel particles, which is formed in open samples on the first day, as can be seen from the tabular data. This made it possible to

на 16 сутки, что также обуславливается воздействием барьерного слоя. Применение тканевой мембраны предотвратило образование барьерного слоя из пересушенных внешних частиц гидрогеля, который формируется у открытых образцов уже в первые сутки, что видно из табличных данных. Это позволило увеличить площадь контакта с окружающей средой и обеспечить более равномерное высыхание по всему объёму сорбента, что говорит о целесообразности применения подобной конструкции абсорбирующих элементов с целью повышения скорости их десорбции

increase the contact area with the environment and ensure more uniform drying over the entire volume of the sorbent, which indicates the expediency of using a similar design of absorbent elements in order to increase their desorption rate

Ключевые слова: ГИДРОГЕЛЬ, ДЕСОРБЦИЯ, АБСОРБИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ, ТКАНЕВАЯ МЕМБРАНА, РЕКУПЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ, ТЕПЛООБМЕННИКИ, КОНДЕНСАТ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, МИКРОКЛИМАТ

Keywords: HYDROGEL, DESORPTION, ABSORBENT ELEMENT, FABRIC MEMBRANE, RECOVERY UNIT, AGRICULTURAL VENTILATION, HEAT EXCHANGERS, CONDENSATE, ENERGY SAVING, MICROCLIMATE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-218-035>

Введение. Гидрогель является универсальным абсорбирующим веществом, благодаря способности стремительно поглощать влагу, его начали активно применять в сфере сельского хозяйства, в частности в гидропонике в качестве заменителя грунта. Также, гидрогель применяется в тепличных комплексах в качестве дополнительного источника влаги для культурных растений [1]. Однако, ввиду того, что свойства данного материала еще не до конца изучены, тяжело реализовать его потенциал в полной мере. Благодаря способности влагопоглощения его также можно активно применять в различных узлах вентиляционных систем, как растениеводческих, так и животноводческих объектов для абсорбирования образующегося конденсата, а также регуляции уровня влажности в вентилируемых помещениях. В животноводческой сфере, несоблюдение уровня влажности воздуха особо критично для курятников, где многократно повышается риск развития таких заболеваний как аспергиллез, инфекционный бронхит и ларинготрахеит. Помимо этого, повышенная влажность влечет за собой ухудшение качества подстилки, из-

<http://ej.kubagro.ru/2026/04/pdf/35.pdf>

за ее слеживания и намокания, что не только снижает продуктивность птицы, но и существенно увеличивает риск развития таких патологий как пододерматит и кокцидиоз [2]. Для нормализации влажности воздуха в представленных производственных помещениях, предлагается техническое устройство с использованием абсорбирующих элементов, направленное на решение одной из наиболее актуальных проблематик в животноводческой сфере сегодняшнего дня.

В качестве примера реализации применения гидрогеля в подобных сельскохозяйственных сферах, выступает полноразмерная рекуперационная установка, оснащенная гидрогелиевыми абсорбирующими элементами [3], которые в данной модели выполнены в виде наполненных гидрогелем абсорбирующих элементов из тканевой мембранной оболочки, разделенных на ячейки (Рис.1).



Рисунок 1 – Полноразмерная рекуперационная установка, оснащенная гидрогелиевыми абсорбирующими элементами: 1 – корпус, 2 – теплообменник, 3 – гидрогелиевые абсорбирующие элементы

Подобная конструкция обусловлена необходимостью равномерного распределения абсорбента, а также повышением его полезной площади контакта с внешней средой. Размерность абсорбирующих элементов и ячеек зависит от габаритов применяемой рекуперационной установки [3].

Применение гидрогеля позволяет регулировать уровень влажности, как в помещениях, так и внутри вентиляционных систем, обеспечивая сохранность и долговечность работы механизмов, в виду снижения коррозионного разрушения металла [4-7]. Однако помимо высокой скорости сорбции, гидрогель имеет малую скорость высыхания, что увеличивает необходимое время для регенерации, после которого снова будет возможно применять абсорбент [8].

Целью настоящей работы является определение зависимости скорости десорбции абсорбирующих элементов от эффективной площади контакта с внешней средой.

Задачи исследования:

- измерить динамику потери массы образцов гидрогеля в тканевой мембране;
- сравнить полученные данные с кинетикой десорбции открытых образцов гидрогеля;
- оценить влияние мембраны на скорость влагоотдачи и предотвращение образования барьерного слоя.

Методика исследования. Для решения данного ограничения необходимо исследовать изменение скорости десорбции при разделении абсорбирующего элемента на ячейки, а также помещении в тканевую мембрану, что теоритически должно повысить эффективную площадь массообмена, тем самым сокращая необходимое время на регенерацию. Для этого, в лабораторных условиях проведены экспериментальные исследования с влагонасыщенным порошком гидрогеля, который был упакован в тканевую мембрану и разделен на 20 ячеек площадью 25 см^2 каждая. Для опытов использовались 3 образца гидрогелиевых абсорбирующих элементов сухой массой гидрогеля 160 г, после насыщения водой масса образцов достигала ≈ 900 г, что является максимально возможной массой, с учетом объемного ограничения

полости ячеек. После чего, образцы помещали в зону хранения, представляющую собой темное помещение, без активной циркуляции воздуха, при освещении ≈ 0 лк. Температура в зоне хранения варьировалась в диапазоне 15-18°C, влажность во время проведения эксперимента составляла 40-60%, что соответствует параметрам нормативных значений обозначенных в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», который устанавливает общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [9]. При проведении эксперимента, для фиксирования показателей микроклимата применялись такие приборы, как цифровой термогигрометр с погрешностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$, $\pm 3-5\%$, и метеометр с погрешностью $\pm 0,3^\circ\text{C}$, $\pm 2\%$. Контроль массы влагонасыщенного гидрогеля фиксировался лабораторными весами с точностью до 0,1 гр. Фиксация степени влагоотдачи проводилась каждые 12 ч, до полного высыхания всех трех образцов.

Статистическая обработка данных. Для оценки достоверности полученных результатов проведенного эксперимента производилась статическая обработка экспериментальных данных. Для каждого дня измерений вычислялось:

- среднее значение по трём образцам (\bar{x});
- стандартное отклонение (σ);
- доверительный интервал для уровня вероятности $P=0,95$ ($\pm \Delta x$).

Коэффициент Стьюдента, исходя из трех степеней свободы и доверительной вероятности 0,95, равен 4,30. Для сравнения с контрольной группой использовался расчет критерия Стьюдента (t – расчетное).

Результаты исследования. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1, а также на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований изменения состояния образцов влагонасыщенных абсорбирующих элементов.

№ образца	Масса образца в гр. спустя кол-во дней															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Образец 1	890,0	799,0	694,0	602,0	534,0	459,0	397,0	362,0	318,0	288,0	240,0	199,0	189,0	178,0	173,0	160,0
Образец 2	895,0	796,0	696,0	594,0	537,0	462,0	402,0	357,0	317,0	287,0	241,0	201,0	188,0	179,0	171,0	160,0
Образец 3	901,0	798,0	703,0	597,0	543,0	467,0	412,0	364,0	323,0	291,0	247,0	209,0	190,0	180,0	171,0	160,0
\bar{x}	895,3	797,7	697,7	597,7	538,0	462,7	403,7	361,0	319,3	288,7	242,7	203,0	189,0	179,0	171,7	160,0
σ	5,51	1,53	4,73	4,04	4,58	4,04	7,64	3,61	3,21	2,08	3,79	5,29	1,00	1,00	1,15	0,00
$\pm\Delta x$	13,7	3,8	11,7	10,0	11,4	10,0	19,0	9,0	8,0	5,2	9,4	13,1	2,5	2,5	2,9	0,0

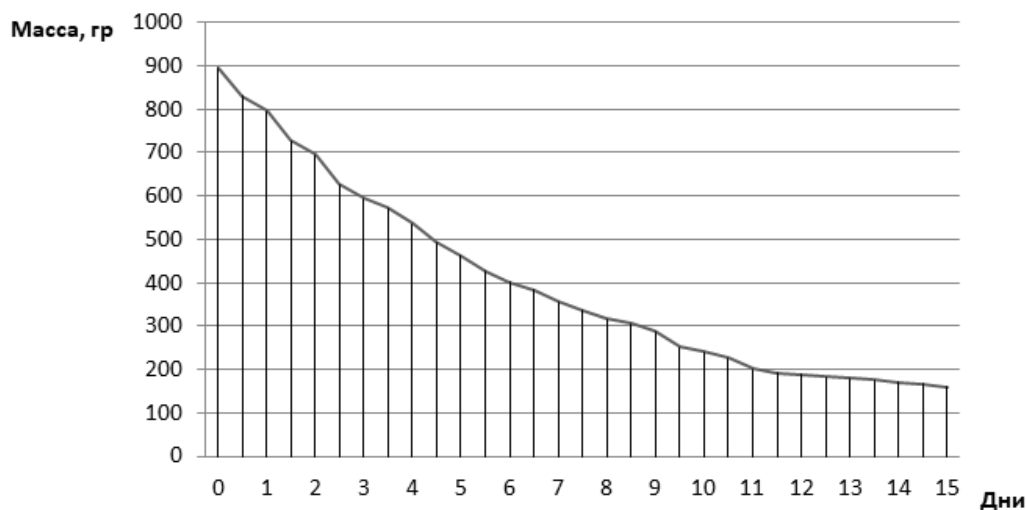


Рисунок 2 – Зависимость потери массы абсорбирующих элементов от времени

Из приведенных данных видно, что у гидрогелиевых образцов со временем постепенно снижается влагоотдача, что обуславливается понижением разности уровней влажности в зоне хранения и структуре абсорбента. Произведенная статистическая обработка полученных экспериментальных данных свидетельствует о высокой повторяемости эксперимента, а также достоверности полученных средних значений.

На скорость десорбции гидрогеля существенно влияют такие параметры как: площадь контакта с внешней средой, температура, внутренняя влагопередача абсорбента, а также циркуляция воздуха. Поскольку все эти параметры на протяжении эксперимента оставались неизменными, становится возможным произвести сравнение полученных данных с уже известными результатами экспериментальных исследований десорбции открытых образцов гидрогеля, полученные в работе [10] в аналогичных условиях (температура 15–18 °С, влажность 40–60%). В результате чего, было произведено сравнение динамики высыхания образцов в мембране и без нее, полученные данные занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты сравнения полученных данных образцов влагонасыщенного гидрогеля упакованных в тканевую мембрану с образцами без нее.

Образец	Влагонасыщенность образца в %, спустя кол-во дней																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Без мембраны	100,0	76,9	75,8	68,1	59,3	56,0	53,7	51,9	50,6	46,4	43,6	40,2	38,0	36,4	35,4	34,7	33,2
С мембраной	100,0	86,5	73,0	59,1	51,3	41,1	32,9	26,8	21,3	17,3	11,0	5,6	3,8	2,6	1,5	0	0
Δ	0	-9,6	2,8	9,0	8,0	14,9	20,8	25,1	29,3	29,1	32,6	34,6	34,2	33,8	33,9	34,7	33,2
t – расчетное	0,0	33,2	4,0	14,1	12,6	28,6	24,0	62,1	84,7	125,9	80,6	66,5	297,3	293,9	294,7	–	–

На основании табличных данных, построены графики динамики изменения уровня влажности образцов в мембране и без нее (Рис.3).

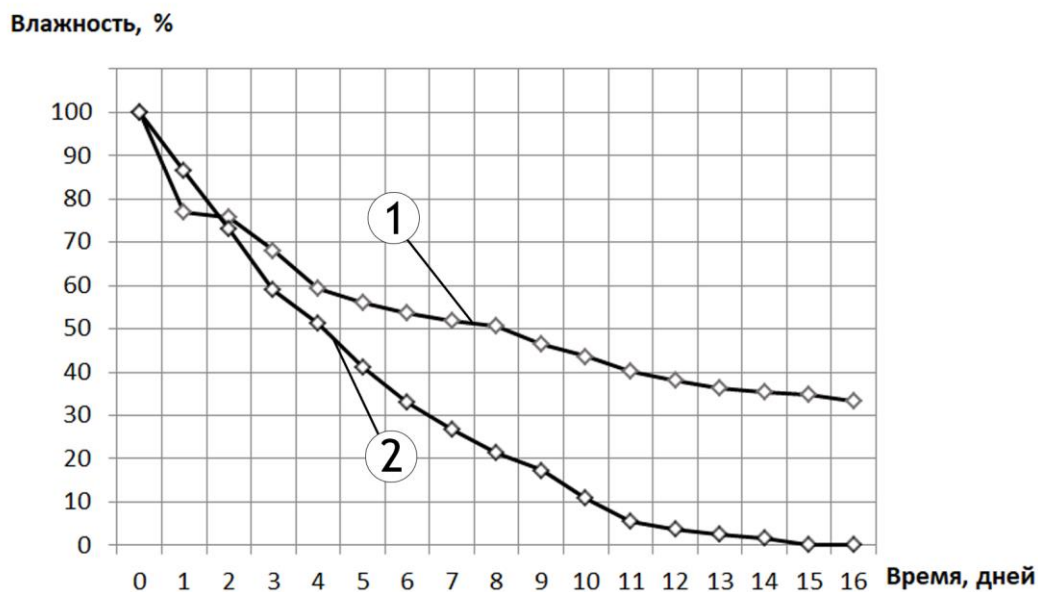


Рисунок 3 – Динамика изменения уровня влажности образцов в мембране и без нее: 1 – образец без мембраны; 2 – образец в мембране

На основе полученных сравнительных данных, очевидно наличие различных динамик скорости влагоотдачи у образцов, покрытых тканевой мембранной оболочкой и без нее. Результаты расчетов критерия Стьюдента, демонстрируют наличие статистически значимых различий, между образцами с мембранной и без нее, уже на первый день эксперимента (t – расчетное = 33,22). На второй день различия находятся на границе значимости, что вызвано резким снижением влагоотдачи образцов без мембраны. В последующие дни, начиная с третьего дня (t – расчетное = 14,1), значения t – расчетного, постепенно увеличивались, что свидетельствует о высокой воспроизводимости полученных результатов и достоверности различий с контрольной группой.

У образцов в мембранной оболочке наблюдается стабильная скорость потери влаги в первые 5 дней эксперимента, в среднем 8–10% в сутки. При этом фиксируется явное снижение скорости влагоотдачи образцов без мембранной оболочки, с первого по четвертый день, средняя

влагоотдача равнялась 8-10%, однако в последующем стала стремительно снижаться, 5 день – 3%, 6 день – 2,3%, 7 день – 1,8% и так далее. Наибольшая разность влагонасыщенности сравниваемых образцов была достигнута на 15 день и составила 34,7%.

Подобные результаты обуславливаются повышением площади контакта с внешней средой образцов покрытых мембранной оболочкой. Также наблюдается полное высыхание образцов в мембранной оболочке, тогда как открытые образцы на момент завершения эксперимента продолжали удерживать не менее 33% влаги, что вызвано появлением барьерного слоя, образованным пересушенными внешними слоями гидрогеля, возникающими в процессе неравномерного высыхания. Благодаря применению тканевой мембраны удалось избавиться от подобного недостатка. В первые 24 часа образцы без мембраны потеряли 23% влаги, однако в следующие сутки этот показатель снизился до 1%. Из чего следует вывод о том, что образование барьерного слоя происходит в течение 1 дня десорбции, чего не наблюдается у образцов покрытых мембранной оболочкой.

После прохождения нескольких циклов сорбции и десорбции мембранная ткань способна растягиваться, ввиду чего повышается максимальный объем влагонасыщенного сорбента, по этой причине, при интеграции абсорбирующего элемента в конструкцию рекуперационной установки, учитывается дополнительный объем с запасом на растяжение, занимаемый насыщенным абсорбирующим элементом. При увеличении объема и масштаба абсорбирующих элементов, теоритически, возможно образование барьерного слоя, ввиду повышения разницы влагонасыщения между слоями сорбента, что необходимо подтвердить экспериментально, а также определить наиболее эффективную размерность ячеек при которой выявленный эффект повышения скорости десорбции будет максимален.

Заключение. В ходе произведенного исследования, скорость влагоотдачи опытных образцов в мембране, по мере высыхания снижалась в меньшей степени, в сравнении с открытыми образцами порошка гидрогеля, ввиду чего, полное высыхание наступило на сутки раньше, что говорит о целесообразности применения подобной конструкции абсорбирующих элементов с целью повышения скорости их десорбции. Что доказывает имеющийся потенциал применения абсорбирующих элементов в системах кондиционирования и вентиляции воздуха сельскохозяйственных объектов в качестве метода борьбы с образующимся конденсатом и наледью, что позволит повысить эффективность работы данных систем в условиях пониженных температур наружного воздуха, тем самым обеспечив соблюдение нормативных микроклиматических показателей внутри животноводческих помещений и теплиц. Для оптимизации работы предлагаемой рекуперационной установки, необходимо экспериментально изучить влияние циркуляции воздуха на скорость влагоотдачи абсорбирующих элементов.

Список литературы

1. Максимова, Ю. Г. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) / Ю. Г. Максимова, В. А. Щетко, А. Ю. Максимов // Сельскохозяйственная биология. – 2023. – Т. 58, № 1. – С. 23-42. – DOI 10.15389/agrobiology.2023.1.23rus.
2. Елфимова, А. А. Влияние повышенной влажности на организм животных / А. А. Елфимова // ДОСТИЖЕНИЯ МОЛОДЕЖНОЙ НАУКИ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА : сборник LVI научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 01 марта 2023 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – С. 105-110.
3. Патент на полезную модель № 236858 U1 Российская Федерация, МПК F24F 12/00, F24F 3/14. Устройство рекуперации тепла промышленных микроклиматических систем для работы в условиях низких температур окружающего воздуха : заявл. 18.06.2025 : опубл. 26.08.2025 / А. С. Корнев, С. А. Черномазов, С. В. Корнев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I.

4. An Overview of Polymeric Hydrogel Applications for Sustainable Agriculture / P. Vedovello, L. V. Sanches, G. Da Silva Teodoro [et al.] // *Agriculture*. – 2024. – Vol. 14, No. 6. – P. 840. – DOI 10.3390/agriculture14060840.

5. Исследование процессов образования и замерзания конденсата в теплообменных аппаратах, рекуперирующих или утилизирующих теплоту низкопотенциального вытяжного воздуха / Г. П. Васильев, А. Н. Дмитриев, Н. А. Тимофеев [и др.] // *Энергетик*. – 2013. – № 11. – С. 033-035.

6. Prakash, V. Moisture conservation practice by using hydrogel in agriculture: A review / V. Prakash, J. R. Kavitha, P. Maheshwari // *Plant Archives*. – 2021. – Vol. 21, No. 1. – DOI 10.51470/plantarchives.2021.v21.no1.073.

7. Исследование физико-химических свойств гидрогеля как средства пылевзрывозащиты и снижения запыленности в угольных шахтах / А. В. Корнев, А. А. Спицын, Л. А. Займенцева, М. В. Зубко // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2023. – № 9-1. – С. 180-198. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_91_0_180.

8. Симакина, Я. И. Исследование сорбционных свойств полимерных гидрогелей на основе акриламида спектральными методами анализа / Я. И. Симакина, Т. Г. Кузьмина, В. Г. Сенин // *Журнал аналитической химии*. – 2021. – Т. 76, № 11. – С. 997-1003. – DOI 10.31857/S0044450221110141.

9. Нургалеева, В. В. Современные требования и тенденции развития промышленной вентиляции / В. В. Нургалеева // *Главный энергетик*. – 2021. – № 8. – С. 9-15.

10. Оценка степени влагоотдачи гидрогеля, в зависимости от микроклиматических показателей при его использовании / В. И. Орбинский, А. С. Корнев, М. С. Ивлева, С. А. Черномазов // *Наука в центральной России*. – 2024. – № 6(72). – С. 84-88. – DOI 10.35887/2305-2538-2024-6-84-88.

References

1. Maksimova, Ju. G. Polimernye gidrogeli v sel'skom hozjajstve (obzor) / Ju. G. Maksimova, V. A. Shhetko, A. Ju. Maksimov // *Sel'skohozejstvennaja biologija*. – 2023. – Т. 58, № 1. – С. 23-42. – DOI 10.15389/agrobiology.2023.1.23rus.

2. Elfimova, A. A. Vlijanie povyshennoj vlazhnosti na organizm zhivotnyh / A. A. Elfimova // *DOSTIZhENIJa MOLODEZhNOJ NAUKI DLJa AGROPROMYShLENNOGO KOMPLEKSA : sbornik LVI nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, Tjumen', 01 marta 2023 goda*. – Tjumen': Gosudarstvennyj agrarnyj universitet Severnogo Zaural'ja, 2023. – С. 105-110.

3. Patent na poleznuju model' № 236858 U1 Rossijskaja Federacija, MPK F24F 12/00, F24F 3/14. Ustrojstvo rekuperacii tepla promyshlennyh mikroklimaticeskikh sistem dlja raboty v uslovijah nizkih temperatur okružhajushhego vozduha : zajavl. 18.06.2025 : opubl. 26.08.2025 / A. S. Kornev, S. A. Chernomazov, S. V. Kornev ; zajavitel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I.

4. An Overview of Polymeric Hydrogel Applications for Sustainable Agriculture / P. Vedovello, L. V. Sanches, G. Da Silva Teodoro [et al.] // *Agriculture*. – 2024. – Vol. 14, No. 6. – P. 840. – DOI 10.3390/agriculture14060840.

5. Issledovanie processov obrazovanija i zamerzaniija kondensata v teploobmennyh apparatah, rekupeirirujushhih ili utilizirujushhih teplotu nizkopotencial'nogo vytjazhnogo vozduha / G. P. Vasil'ev, A. N. Dmitriev, N. A. Timofeev [i dr.] // *Jenergetik*. – 2013. – № 11. – С. 033-035.

6. Prakash, V. Moisture conservation practice by using hydrogel in agriculture: A review / V. Prakash, J. R. Kavitha, P. Maheshwari // *Plant Archives*. – 2021. – Vol. 21, No. 1. – DOI 10.51470/plantarchives.2021.v21.no1.073.
7. Issledovanie fiziko-himicheskikh svojstv gidrogelja kak sredstva pylevzryvozashhity i snizhenija zapylennosti v ugol'nyh shahtah / A. V. Kornev, A. A. Spicyn, L. A. Zajmenceva, M. V. Zubko // *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. – 2023. – № 9-1. – S. 180-198. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_91_0_180.
8. Simakina, Ja. I. Issledovanie sorbcionnyh svojstv polimernyh gidrogelej na osnove akrilamida spektral'nymi metodami analiza / Ja. I. Simakina, T. G. Kuz'mina, V. G. Senin // *Zhurnal analiticheskoy himii*. – 2021. – T. 76, № 11. – S. 997-1003. – DOI 10.31857/S0044450221110141.
9. Nurgaleeva, V. V. Sovremennye trebovaniya i tendencii razvitija promyshlennoj ventiljicii / V. V. Nurgaleeva // *Glavnyj jenergetik*. – 2021. – № 8. – S. 9-15.
10. Ocenka stepeni vlagooddachi gidrogelja, v zavisimosti ot mikroklimaticheskikh pokazatelej pri ego ispol'zovanii / V. I. Orobinskij, A. S. Kornev, M. S. Ivleva, S. A. Chernomazov // *Nauka v central'noj Rossii*. – 2024. – № 6(72). – S. 84-88. – DOI 10.35887/2305-2538-2024-6-84-88.