

**ГЕОТЕХНОЛОГИИ. ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ**
**GEOTECHNOLOGY. EXTRACTION, PROCESSING
AND THE USE OF SOLID FUEL MINERALS**

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2025-1-138-147>

УДК 622.271.6

Поступила в редакцию 25.03.2025

Received 25.03.2025

**ЭСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ САПРОПЕЛЯ ИЗ-ПОД ТОРФА**

**Б. В. Курзо, В. Б. Кунцевич, О. М. Гайдукевич, А. Ю. Татков,
А. А. Молочко, Т. И. Макаренко, И. В. Агейчик, Л. П. Калилец**

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных работ по скважинной гидродобыче сапропеля, залегающего под торфом. Исследования проведены на торфяных месторождениях Гала-Ковалевское и Кобылицкое, которые расположены в Пуховичском районе Минской области. В работе учтены результаты теоретических расчетов, выполненных авторами ранее, что позволило произвести выбор серийно выпускаемого оборудования для проведения исследований в полевых условиях. При этом в расчетах приняты реальные исходные данные, сложившиеся на опытном участке торфяного месторождения Гала-Ковалевское.

Установлено, что при добыче сапропеля карбонатного типа влажностью 76,3 % производительность высоконапорной мотопомпы Denzel PX-50H при подаче воды в сапропелевую залежь равна 23 м³/ч, что соответствует производительности всасывающей мотопомпы DDE PTR 50K. При добыче сапропеля органического типа влажностью 91,0 % производительность мотопомпы Denzel PX-50H не должна превышать 18–20 м³/ч.

Выявлено, что скорость течения воды в нагнетающем шланге диаметром 50 мм при подаче ее в емкость составляет 3,6 м/с, в сапропелевую залежь – 3,2 м/с. Скорость течения сапропелевой пульпы в транспортирующем шланге равна 3,1 м/с.

Показано, что избыточное давление в сапропеле, создаваемое высоконапорной мотопомпой Denzel PX-50H, составляет 6 бар, что обеспечивает разрыв сапропелевой залежи на расстоянии 1,50 м от скважины. Расчетным путем установлено, что критическое динамическое давление, необходимое для разрушения карбонатного сапропеля, составляет 0,13 МПа. Учитывая давление, создаваемое мотопомпой Denzel PX-50H, предельное расстояние разрушения равно 1,87 м.

Представленные расчеты позволяют произвести выбор оборудования с другими техническими характеристиками, удовлетворяющими условиям гидродобычи сапропеля на месторождения различного типа.

Ключевые слова: торфяные месторождения; сапропель; скважинная гидродобыча; оборудование; опытная установка; основные показатели.

Для цитирования. Курзо Б. В., Кунцевич В. Б., Гайдукевич О. М., Татков А. Ю., Молочко А. А., Макаренко Т. И., Агейчик И. В., Калилец Л. П. Экспериментальные исследования технологии скважинной гидродобычи сапропеля из-под торфа // Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 138–147.

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE BOREHOLE HYDRAULIC
EXTRACTION TECHNOLOGY OF SAPROPEL FROM UNDER PEAT**

**B. V. Kurzo, V. B. Kuntsevich, O. M. Gaidukevich, A. Yu. Tatkov,
A. A. Molochko, T. I. Makarenko, I. V. Ageichik, L. P. Kalilets**

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The article presents the results of experimental work on the borehole hydraulic production of sapropel located under peat. The researches was carried out at Gala-Kovalevskoye and Kobylitskoye peat deposits located in Pukhovichi district of Minsk region. The work takes into account the results of theoretical calculations previously performed by the authors, which made it possible to select commercially available equipment for research conducting in field conditions. In this case, the calculations were based on real initial data that were generated at the experimental site of Gala-Kovalevskoye peat deposit.

It was established during the sapropel extraction of carbonate type with the moisture content of 76.3 %, the productivity of Denzel PX-50H high-pressure motor pump at water supply into the sapropel deposit is equal to 23 m³/h that corresponded to the productivity the suction of DDE PTR 50K motor pump. When extracting sapropel of organic type with a moisture content of 91.0 %, the capacity of Denzel PX-50H motor pump should not exceed 18–20 m³/h.

It was found that the flow rate of water in a 50 mm diameter injection hose when feeding it into a container is 3.6 m/s, and into a sapropel deposit – 3.2 m/s. The flow rate of the sapropel pulp in the transport hose is 3.1 m/s.

It is shown that the excess pressure in sapropel created by Denzel PX-50H high-pressure motor pump is 6 bar, which ensures the erosion of the sapropel deposit at a distance of 1.50 m from the well. It was determined by calculation that the critical dynamic pressure required to destroy carbonate sapropel is 0.13 MPa. Taking into account the pressure created by Denzel PX-50H motor pump, the maximum destruction distance is 1.87 m.

The presented calculations allow us to select equipment with other technical characteristics that meet the conditions of hydraulic extraction of sapropel in deposits of various types.

Keywords: peat deposits; sapropel; borehole hydraulic mining; equipment; pilot plant; main indicators.

For citation. Kurzo B. V., Kuntsevich V. B., Gaidukevich O. M., Tatkov A. Yu., Molochko A. A., Makarenko T. I., Ageichik I. V., Kalilets L. P. Experimental studies of the borehole hydraulic extraction technology of sapropel from under peat. *Nature Management*, 2025, no. 1, pp. 138–147.

Введение. Скважинная гидродобыча сапропеля базируется на размыве отдельных генетических слоев залежи тонкими струями воды высокого давления с одновременным засасыванием полученной пульпы и дальнейшим ее транспортированием по трубопроводу в отстойник (специальные контейнеры) для удаления избыточной влаги. В 2023 г. сотрудниками лаборатории использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений разработаны теоретические основы и определены основные показатели применения такого транспортирования для добычи сапропеля, погребенного под слоем торфа [1]. В 2024 г. на опытных участках торфяных месторождений Гала-Ковалевское и Кобылицкое, которые расположены в Пуховичском районе Минской области, проведены экспериментальные работы по установлению возможности и целесообразности применения технологии СГДС, залегающего под слоем торфа [2]. На месторождении Гала-Ковалевское для полевых исследований определена площадка размером 40 м × 500 м, примыкающая с юга к магистральному каналу. В настоящее время торф на ней не добывается ввиду его малой мощности и подстилания сапропелем, наличие которого снижает несущую способность залежи. Зондирование торфяной и сапропелевой залежи на площадке произведено по двум поперечникам с расстоянием между пикетами 50 м (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения пунктов зондирования для определения мощности торфа и сапропеля на опытном участке

Fig. 1. Scheme of probing points location for peat and sapropel thickness determination at the experimental area

Средняя мощность торфа на исследованной площади составила 0,86 м при изменении от 0,5 до 1,8 м, а средняя мощность сапропеля – 1,3 м при изменении от 0,6 до 2,8 м. Для испытания опытной установки по добыче сапропеля из-под торфа намечены пункты вблизи пикетов № 1–4 и 1–5, которые расположены на расстоянии 10 м от источника воды – магистрального канала и имеют малую мощность торфа (0,8–1,1 м) и повышенную мощность сапропеля (1,2–1,7 м).

На торфяном месторождении Кобылицкое в начале 2000-х годов выполнено предварительное осушение, однако в дальнейшем подготовка месторождения для добычи фрезерного торфа была прекращена и в настоящее время массив находится практически в естественном состоянии. Средняя мощность торфа на опытном участке составила 1,7 м, сапропеля – 1,8 м. Забор воды для подачи ее в скважину осуществляли из картового канала, который был полностью заполнен.

В намеченных пунктах на каждом месторождении через 0,25 м на всю глубину отбирали образцы торфа и сапропеля для определения их общетехнических свойств (табл. 1).

Таблица 1. Качественная характеристика торфа и сапропеля на опытных участках (средние значения)

Table 1. Qualitative characteristics of peat and sapropel in experimental areas (average values)

Показатель	Месторождение			
	Гала-Ковалевское		Кобылицкое	
Залежь	Торфяная	Сапропелевая	Торфяная	Сапропелевая
Тип	Низинная	Карбонатная	Переходная	Органическая
Степень разложения, %	30	–	30	–
Влажность, %	85,0	76,3	90,0	91,0
Зольность, %	8,0	43,5	4,6	20,0

Методы исследований включают экспериментальные работы в полевых условиях, лабораторные исследования, математическую обработку полученных данных.

Результаты и их обсуждение. Эффективность исследований в полевых условиях в значительной степени зависит от оборудования, которое используется при выполнении технологических операций. В нашем случае расчет параметров установки для гидродобычи сапропеля осуществлен с учетом реальных условий, сложившихся на опытном участке торфопредприятия Гала-Ковалевское: расстояние от скважин до водоисточника (магистрального канала) – 10 м, геометрическая разность высот между уровнем воды в канале и входным патрубком мотопомпы – 4, геометрическая разность высот между выходным патрубком высоконапорной мотопомпы и центральным слоем сапропелевой залежи – 3,5, расстояние от выходного патрубка всасывающей мотопомпы до отстойника (специальных контейнеров) – 20 м. Диаметры всасывающего и нагнетающего шлангов для воды, а также всасывающего и транспортирующего шлангов для сапропелевой пульпы – 50 мм, относительная влажность сапропеля в залежи – 76,3 %, относительная влажность пульпы (принятая) – 94,0 %. По результатам расчета опытная установка укомплектована следующим серийно выпускаемым оборудованием: высоконапорной мотопомпой Denzel PX-50H, предназначеннной для подачи воды под давлением в сапропель, мотопомпой DDE PTR 50K для всасывания полученной пульпы, грунтозаборным устройством, шлангами из ПВХ напорно-всасывающими Argo СЕ и ФУД-П, плоским шлангом-пульпопроводом из ПВХ (рис. 2).



Рис. 2. Оборудование и изделия для добычи сапропеля из-под торфа на опытном участке

Fig. 2. Equipment and products for the extraction of sapropel from under peat at the experimental area

Компоновочная схема оборудования для проведения экспериментальных работ показана на рис. 3. Техническая характеристика мотопомп приведена в табл. 2.

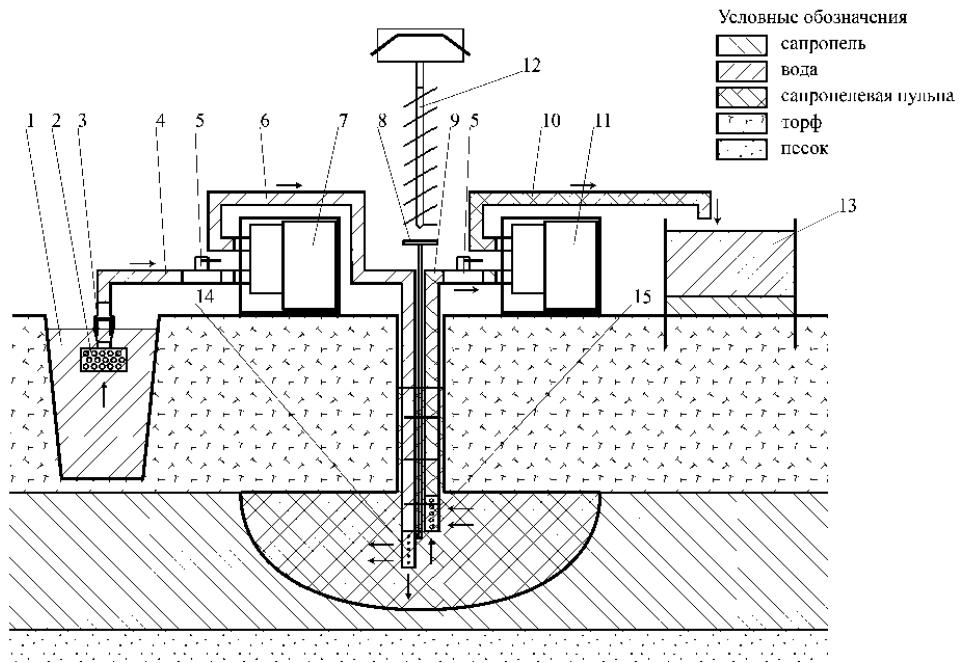


Рис. 3. Схема установки по скважинной гидродобыче сапропеля на опытном участке:

1 – водоем; 2 – всасывающий оголовок; 3 – обратный клапан управляемый; 4 – всасывающий шланг для воды; 5 – шаровый кран; 6 – нагнетающий шланг для воды; 7 – мотопомпа высоконапорная Denzel PX-50H; 8 – управляющая штанга; 9 – всасывающий шланг для пульпы; 10 – транспортирующий пульпопровод;

11 – мотопомпа грязевая DDE PTR50K; 12 – бензиновый мотобур Fubag FPB71; 13 – геотекстильный контейнер; 14 – устройство для размыва сапропеля; 15 – устройство для забора сапропелевой пульпы

Fig. 3. Scheme of the installation for borehole hydraulic extraction of sapropel at the experimental area:

1 – reservoir; 2 – suction head; 3 – controlled check valve; 4 – water suction hose; 5 – ball valve;

6 – water discharge hose; 7 – Denzel PX-50H high-pressure motor pump; 8 – control rod; 9 – pulp suction hose; 10 – pulp transport pipeline; 11 – DDE PTR50K mud motor pump; 12 – Fubag FPB71 gasoline motor drill; 13 – geotextile container; 14 – device for washing out sapropel; 15 – device for collecting sapropel pulp

Таблица 2. Техническая характеристика мотопомп

Table 2. Technical characteristics of motor pumps

Показатель	Модель мотопомпы	
	Denzel PX-50H	DDE PTR 50K
Назначение	Для чистой воды	Для сильно загрязненной воды
Тип двигателя	Бензиновый, четырехтактный, воздушного охлаждения	
Мощность двигателя, кВт	5,2	4,1
Максимальный напор, м	65	20
Максимальная производительность, м ³ /ч	36	30
Расход топлива, л/ч	2,0	1,9
Масса, кг	24	48

Приоритетными вопросами исследований являлись производительность высоконапорной и грязевой мотопомп, скорость течения воды и сапропелевой пульпы в нагнетательном и транспортирующем шлангах соответственно, размер зоны размыва сапропелевой залежи, давление, создаваемое высоконапорной мотопомпой в залежи, содержание в пульпе сухого вещества.

Производительность высоконапорной мотопомпы и скорость течения воды в нагнетающем шланге определяли следующим образом. К входному патрубку высоконапорной мотопомпы Denzel PX-50H присоединяли шланг Argo CE длиной 10 м и осуществляли забор воды из магистрального канала. К выходному патрубку присоединяли шланг длиной 5 м, из которого вода свободно выливалась в мерную емкость.

Производительность определяли по формуле

$$Q_{\text{в}} = \frac{V}{t}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{в}}$ – производительность мотопомпы при свободном течении воды, л/с; V – объем емкости, л; t – время наполнения емкости, с.

Для определения производительности мотопомпы при подаче воды в залежь сапропеля мотобуром осуществляли проходку скважины на всю глубину залегания торфа и сапропеля, и в нее опускали устройство для размыва примерно до центрального слоя сапропеля (количество открытых отверстий в устройстве – 10). Из предварительно наполненной емкости мотопомпой осуществляли забор воды и подачу ее в скважину. Производительность рассчитывали по формуле (1) с той разницей, что в первом случае емкость наполняли водой, во втором – опорожняли.

Скорость течения воды рассчитывали по формуле

$$v = \frac{4Q_{\text{в}}}{\pi D^2}, \quad (2)$$

где v – скорость течения воды м/с; D – внутренний диаметр шланга, м;

Пульпу, полученную в результате размыва сапропелевой залежи, мотопомпой DDE PTR 50K через заборное устройство, всасывающий шланг и входной патрубок извлекали из скважины и посредством плоского шланга из ПВХ, закрепленного на выходном патрубке, транспортировали в контейнеры различной конструкции для сушки (рис. 4).



Рис. 4. Разлив сапропелевой пульпы в контейнеры для сушки

Fig. 4. Pouring sapropel pulp into containers for drying

Производительность всасывающей мотопомпы и скорость течения пульпы в транспортирующем шланге определяли по формулам (1) и (2). Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3. Основные характеристики мотопомп при работе на опытном участке в различных условиях

Table 3. Main characteristics of motor pumps during operation at the experimental area under differential conditions

Показатель	Модель мотопомпы	Подача		
		воды в емкость	воды в сапропелевую залежь	пульпы в контейнер
Производительность, м ³ /ч	Denzel PX-50H	26	23	–
	DDE PTR 50K	–	–	22
Скорость течения, м/с	Denzel PX-50H	3,6	3,2	–
	DDE PTR 50K	–	–	3,1

Следует отметить, что при расчете технических параметров мотопомп значения исходных данных качественной характеристики сапропеля, необходимые для расчета, принимали применительно к торфяному месторождению Гала-Ковалевское (тип сапропеля – карбонатный, влажность – 76,3 %). Вследствие этого на опытном участке данного месторождения мотопомпы работали практически синхронно – производительность мотопомпы Denzel PX-50H соответствовала производительности мотопомпы DDE PTR 50K. На торфяном месторождении Кобылицкое сапропель относится к органическому типу, а средняя влажность равна 91,0 %. В данном случае производительность нагнетательной мотопомпы превышала производительность всасывающей мотопомпы, так как количество воды, подаваемое в скважину, значительно больше расчетного значения (3,4 т воды на 1 т сапропеля против необходимых 1,9 т). В результате часть сапропелевой пульпы из скважины выливалась на поверхность торфяной залежи. Регулировка производительности мотопомп осуществляется путем изменения числа оборотов, однако это не всегда приемлемо, так как при снижении числа оборотов уменьшается и напор, который может оказаться недостаточным для размыва сапропеля. При добыче сапропеля органического типа производительность нагнетающей мотопомпы должна находиться в пределах 18–20 м³/ч, а производительность всасывающей мотопомпы составлять 22–23 м³/ч.

Для определения избыточного давления в сапропеле мотобуром отрывали скважину и опускали в нее устройство для размыва сапропеля, примерно до его центрального слоя. Воду в устройство нагнетали при максимальных оборотах вала двигателя.

Расчет избыточного давления осуществляли по формуле

$$H_0 = \frac{(P_2 - P_1) \cdot 10^5}{\rho_b q} + H_t + h_1 - h_2, \quad (3)$$

где H_0 – максимальный напор, развиваемый мотопомпой (принимается по технической характеристике мотопомпы), м; P_2 – избыточное давление в сапропелевой залежи, бар; P_1 – давление в открытом водоеме, бар; ρ_b – плотность воды, кг/м³; q – ускорение свободного падения, м/с²; H_t – потери напора на трение и местные сопротивления, м; h_1 – геометрическая разность высот между поверхностью водоема и входным патрубком, м; h_2 – геометрическая разность высот между выходным патрубком мотопомпы и центральным слоем сапропелевой залежи, м.

Потери напора на трение и местные сопротивления находили по формуле

$$H_t = (K_t l_0) / D [v_{cm}^2 / (2q)], \quad (4)$$

где $K_t = 0,032$ – коэффициент трения [3]; l_0 – общая длина шлангов, м; D – внутренний диаметр шлангов, м.

В нашем случае при подаче воды из магистрального канала в сапропель элементы трубопровода, создающие условия для местных сопротивлений, практически отсутствуют (за исключением угла изменения потока при входе и выходе из мотопомпы), поэтому потерей напора на преодоление местных сопротивлений можно пренебречь [4].

$$H_t = (0,032 \cdot 15) / 0,05 [3,2^2 / (2 \cdot 9,81)] \approx 5 \text{ (м).}$$

Преобразовав формулу (3) и подставив известные значения ($P_1 = 1$ бар, $\rho_b = 1000$ кг/м³, $q \approx 10$ м/с²), получим:

$$P_2 = (H_0 + 10P_1 - H_t - h_1 + h_2) / 10 = (65 + 10 - 5 - 4 + 3,5) / 10 \approx 7 \text{ (бар).}$$

Согласно технической характеристике мотопомпы Denzel PX-50H при максимальном напоре (65 м) производительность мотопомпы по воде равна 36 м³/ч (см. табл. 2). Производительность по результатам испытаний на опытном участке при подаче воды в сапропелевую залежь составила 23 м³/ч. Из формулы полезной мощности фактический напор

$$H_0' = N_n / \rho_b q Q_c, \quad (5)$$

где N_n – полезная мощность мотопомпы, Вт; Q_c – производительность мотопомпы при подаче воды в сапропелевую залежь, м³/с (см. табл. 3);

$$N_{\text{н}} = N_{\text{h}} K_{\text{н}}, \quad (6)$$

где N_{h} – необходимая мощность мотопомпы (см. табл. 2), кВт; $K_{\text{н}} = 0,75$ – коэффициент полезного действия мотопомпы [4].

$$N_{\text{н}} = 5,2 \cdot 0,75 = 3,9 \text{ (кВт)},$$

$$H_0' = 3900 / 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0065 \approx 61 \text{ (м)}.$$

В этом случае давление, создаваемое высоконапорной мотопомпой,

$$P_2' = 61 + 10 - 5 - 4 + 3,5/10 = 6 \text{ бар.}$$

При разработке методики проведения полевых исследований планировалось размер зоны размыва установить путем набора значений влажности сапропеля в зависимости от расстояния точки от бора пробы до скважины. Однако в процессе испытаний был подобран более простой и достоверный способ: с шагом 0,5 м осуществляли бурение скважин и фиксировали наиболее удаленную скважину, в которой появлялась сапропелевая пульпа. Таким образом, было установлено, что при данных конкретных условиях размыв сапропеля происходит в радиусе 1,50 м от скважины, в которую высоконапорной мотопомпой подается вода. Разработка сапропелевой залежи по технологии СГДС в промышленных масштабах предполагает использование более производительного оборудования, соответственно увеличится и зона размыва.

Во время полевых исследований проведен опыт по применению рассмотренного способа для добычи торфа. Результат получился отрицательным, так как структура торфа более прочная, чем сапропеля и величина напора мотопомпы Denzel PX-50H (65 м) оказалась недостаточной для превращения торфяной залежи в пульпу. В некотором роде аналогом СГДС является гидроторф, в основу которого положено разрушительное действие мощной водяной струи с давлением от 12 до 15 бар, превращающее торфяную залежь в гидромассу. Напор в этом случае составлял 120–150 м, а мощность электродвигателя привода центробежного насоса достигала значения 500 кВт [5].

В настоящее время добычу сапропеля осуществляют экскаваторным способом, который предполагает полное удаление слоя торфа над сапропелем, вследствие чего вскрышные работы оказывают значительное влияние на себестоимость готовой продукции. СГДС основан на подаче воды в скважины, расположенные в определенном порядке на разрабатываемой площади, поэтому объем вскрышных работ значительно меньше, что подтверждается расчетом.

Объем извлеченного торфа и сапропеля из одной скважины

$$V_1 = \frac{\pi D_{\text{ш}}^2}{4} h, \quad (7)$$

где V_1 – объем извлеченного торфа, м³; $D_{\text{ш}}$ – диаметр шнека, м; h – глубина скважины, м.

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} \cdot 2,3 \approx 0,072 \text{ (м}^3\text{)}.$$

На выбывших из эксплуатации полях, на которых ранее добывали фрезерный торф, в потери относится площадь, занятая осушительной сетью. Коэффициент использования площади в этом случае равен 0,95 [6]. Учитывая, что радиус размыва сапропелевой залежи на опытном участке составляет 1,50 м, площадь зоны размыва

$$F = \pi R^2 = 3,14 \cdot 1,5^2 \approx 7,1 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Количество скважин на 1 га нетто

$$n = (10\,000 \cdot 0,95) : 7,1 \approx 1338 \text{ (шт.)}.$$

Объем извлеченного торфа с 1 га

$$V = 1138 \cdot 0,072 \approx 96 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Если принять среднестатистическую глубину оставшегося слоя торфа 0,7 м [7], при экскаваторном способе добычи его объем составит

$$v = 10\,000 \cdot 0,95 \cdot 0,7 = 6650 \left(\text{м}^3 \right).$$

Таким образом, объем вскрышных работ при реализации СГДС значительно меньше по сравнению с экскаваторным, что является одним из важных его преимуществ.

Определенный интерес вызывает сравнение предельного расстояния разрушения сапропеля, полученное опытным путем и расчетным, которое определяется по формуле

$$L_{\text{kp}} = \left(\frac{P_2'}{P_{\text{kp}}} \right)^K \cdot L_{\text{h}}, \quad (8)$$

где L_{pr} – предельное расстояние разрушения, м; P_{kp} – минимальное динамическое давление, необходимое для разрушения сапропеля, бар; $K = 0,85$ – показатель интенсивности распада струи [8]; L_{h} – длина начального участка струи, м.

$$P_{\text{kp}} = (C_{\text{kp}} - C_{\text{dp}}) + (\rho H \cdot 10^{-2} \operatorname{tg} \varphi_{\text{kp}}) - (K_b \rho H \cdot 10^{-2} \operatorname{tg} \varphi_{\text{dp}}), \quad (9)$$

где P_{kp} – минимальное динамическое давление, необходимое для разрушения сапропеля, МПа; C_{kp} и C_{dp} – кратковременный и длительный показатели сцепления соответственно, МПа [8, 9]; ρ – плотность сапропеля, т/м³; H – глубина разработки, м; φ_{kp} и φ_{dp} – кратковременный и длительный углы внутреннего трения соответственно [8, 9]; $K_b = 1$ – коэффициент бокового давления [8].

$$P_{\text{kp}} = (0,17 - 0,04) + (1,041 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,466) - (1 \cdot 1,041 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,213) \approx 0,13 \text{ (МПа)}.$$

Длина начального участка струи

$$L_{\text{h}} = (A - B \operatorname{Re}) d_{\text{o}}, \quad (10)$$

где A и B – эмпирические коэффициенты ($A = 62,4$, $B = 16 \cdot 10^{-6}$) [8]; Re – число Рейнольдса [1]; d_{o} – диаметр отверстия в устройстве для размытия сапропеля, м.

$$L_{\text{h}} = (62,4 - 16 \cdot 10^{-6} \cdot 4761) \cdot 0,008 = 0,5 \text{ (м)}.$$

Предельное расстояние разрушения

$$L_{\text{kp}} = \left(\frac{6}{1,3} \right)^{0,85} \cdot 0,5 = 1,87 \text{ (м)}.$$

Предельное расстояние разрушения, полученное опытным (1,50 м) и расчетным (1,87 м) путем, имеет близкие значения.

Заключение. В результате проведения экспериментальных работ по СГДС с помощью сконструированной установки показаны возможность и целесообразность применения гидромеханизированного способа для добычи сапропеля из-под торфа. Установлены основные показатели добычи сапропеля карбонатного и органического типов скважинным способом. Определены расход и скорость течения воды и сапропелевой пульпы соответственно в нагнетательном и транспортирующем шлангах экспериментальной установки.

Показано, что избыточное давление в сапропеле, создаваемое высоконапорной мотопомпой Denzel PX-50H, составляет 6 бар, что обеспечивает размытие сапропелевой залежи на расстоянии 1,50 м от скважины. Выявлено, что среднее содержание сухого вещества в пульпе карбонатного сапропеля составляет 3 %, в пульпе органического сапропеля – 2 %. Расчетным путем установлено, что критическое динамическое давление, необходимое для разрушения сапропеля, составляет 0,13 МПа. Учитывая давление, создаваемое мотопомпой Denzel PX-50H, предельное расстояние разрушения равно 1,87 м.

Определены объемы вскрышных работ на условной площадке 1 га при добыче сапропеля из-под слоя торфа. У разрабатываемого СГДС они будут минимальными – 96 м³/га, по сравнению с применяемым в настоящее время экскаваторным способом (6650 м³/га).

Список использованных источников

1. Формулирование теоретических основ расчета гидродобычи залегающего под торфом сапропеля и разработка технологической классификации его залежей : отчет о НИР (промежуточ.) / НАН Беларуси, Ин-т природопользования ; рук. Б. В. Курзо. – Минск, 2023. – 84 с. – № ГР 20210174.
2. Разработка и апробация в опытных условиях элементов скважинной системы гидродобычи и гидротранспорта сапропеля и торфосапропеля, залегающих под торфом : отчет о НИР (промежуточ.) / НАН Беларуси, Ин-т природопользования ; рук. Б. В. Курзо. – Минск, 2024. – 101 с. – № ГР 20210174.
3. Основные принципы подбора насосов. Расчет насосов. – URL: https://ence-pumps.ru/podbor_raschet_nasosov/ (дата обращения: 08.09.2022).
4. Эквивалентный диаметр при расчете трубопровода. – URL: <https://ence-pumps.ru/truboprovody/> (дата обращения: 01.03.2023).
5. Веллер, М. А. Гидроторф. Технологический процесс торфодобычи и его организация / М. А. Веллер. – М. ; Л., 1935. – 331 с.
6. Никифоров, В. А. Руководство по добыче торфа / В. А. Никифоров. – Минск : Гос. изд-во БССР, 1960. – 308 с.
7. Богатов, Б. А. Технология и комплексная механизация торфяного производства / Б. А. Богатов, В. А. Никифоров. – Минск : Университетское, 1988. – 463 с.
8. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых / В. Ж. Аренс, Н. И. Бабичев, А. Д. Башкатов [и др.]. – М. : Горная книга, 2007. – 291 с.
9. Штин, С. М. Гидромеханизированная добыча торфа и производство торфяной продукции энергетического назначения / С. М. Штин ; под ред. И. М. Ялтанца. – М. : Горная книга, 2012. – 360 с.

References

1. *Formulirovanie teoretycheskih osnov rascheta gidrodobychi zalegayushchego pod torfom sapropelya i razrabotka tekhnologicheskoy klassifikacii ego zalezhej* [Formulation of theoretical foundations for calculating hydraulic mining of sapropel underlying peat and development of a technological classification of its deposits]. *Otchet o NIR* (promezhut.) [Research report (intermediate)]. Institute of Nature Management of the NAS of Belarus, supervisor B. V. Kurzo. Minsk, 2023, 84 p., St. Reg. no. 20210174. (in Russian)
2. *Razrabotka i aprobaciya v optynyh usloviyah elementov skvazhinnoj sistemy gidrodobychi i gidrotransporta sapropelya i torfosalpropelya, zalegayushchih pod torfom* [Development and testing in experimental conditions of elements of a borehole system for hydraulic extraction and hydraulic transport of sapropel and peat-sapropel located under peat]. *Otchet o NIR* (promezhut.) [Research report (intermediate)]. Institute of Nature Management of the NAS of Belarus, supervisor B. V. Kurzo. Minsk, 2024, 101 p., St. Reg. no. 20210174. (in Russian)
3. *Osnovnye principy podbora nasosov. Raschet nasosov* [Basic principles for the selection of pumps. Calculation of pumps]. Available at: https://ence-pumps.ru/podbor_raschet_nasosov/ (accessed 8 September 2022). (in Russian)
4. *Ekvivalentnyj diametr pri raschete truboprovoda* (Equivalent diameter when calculating the pipeline). Available at: <https://ence-pumps.ru/truboprovody/> (accessed 1 March 2023). (in Russian)
5. Weller M. A. *Gidrotorf. Tekhnologicheskij process torfodobychi i ego organizaciya* [Hydropeat. Technological process of peat extraction and its organization]. Moscow-Leningrad, 1935, 331 p. (in Russian)
6. Nikiforov V. A. *Rukovodstvo po dobache torfa* [Peat Mining Guide]. Minsk, State Publ. House of the BSSR, 1960, 308 p. (in Russian)
7. Bogatov B. A., Nikiforov V. A. *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizaciya torfyanogo proizvodstva* [Technology and complex mechanization of peat production]. Minsk, University Publ., 1988, 463 p. (in Russian)
8. Arens V. Zh., Babichev N. I., Bashkatov A. D., Gridin O. M., Hrulev A. S., Hcheyan G. H. *Skvazhinnaya gidrodobycha poleznyh iskopаемyh* [Borehole hydraulic mining]. Moscow, Mountain book Publ., 2007, 291 p. (in Russian)
9. Shtin S. M. *Gidromekhanizirovannaya dobucha torfa i proizvodstvo torfyanoy produkciyi energeticheskogo naznacheniya* [Hydromechanized extraction of peat and production of peat products for energy purposes]. Moscow, Mountain book Publ., 2012, 360 p. (in Russian)

Информация об авторах

Курзо Борис Валентинович – доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kurs2014@tut.by

Кунцевич Виктор Болеславович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Information about authors

Boris V. Kurzo – D. Cs. (Technical), Associate Professor, Head of Lab of Peat and Sapropel Deposits Utilization and Protection, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: kurs2014@tut.by

Victor B. Kuntsevich – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Гайдукевич Олег Михайлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kurs2014@tut.by

Татков Антон Юрьевич – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kurs2014@tut.by

Молочко Алексей Александрович – директор филиала «ТБЗ Сергеевичское» УП «МИНГАЗ», (ул. Юбилейная, 47, 222839, Пуховичский р-н, Правдинский пос., Беларусь)

Макаренко Татьяна Ивановна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: makarenko.IP@mail.ru

Агейчик Инна Валерьевна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: ageichik.iv@mail.ru

Калилец Людмила Петровна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Oleg M. Gaidukevich – Ph. D. (Technical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: kurs2014@tut.by

Anton Yu. Tatkov – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: kurs2014@tut.by

Aliaksei A. Molochko – Director of the Branch "TBZ Sergeevichskoe" of UE "MIN-GAS" (476, Yubileynaya Str., 222839, Pukhovich District, Pravdinsky Settlement, Belarus)

Tatiana I. Makarenko – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: makarenko.IP@mail.ru

Inna V. Ageichik – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: ageichik.iv@mail.ru

Lyudmila P. Kalilets – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by