

A METHOD FOR CALCULATING FLOW-CHANNEL PARAMETERS FOR AN INCUBATOR SYSTEM INSTALLED AT DEPLETED PEAT DEPOSITS

A.L. YABLONEV, Dr. Sc., A.A. ANDRIANOVA, Senior Lecturer

Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: lp62007@yandex.ru

Placing an incubation system in a flow channel of a depleted peat deposit requires hydraulic calculations for both the system itself and the channel. Calculations for the incubation system components (the incubator nest and the supply corrugated PVC pipes) have been previously presented in several articles. This paper describes the authors' developed method for calculating a flow channel and identifying its key parameters – the hydraulic slope of the bottom, the water flow velocity, and the flow rate. An example of a channel calculation using the proposed method is provided. It is noted that a reasonable internal diameter of a corrugated PVC pipe is 25 mm, and the required slope for incubating peled eggs is 0.000 66...0.000 79. Equipment for digging and repairing the flow channel is recommended, and its brief technical specifications are provided.

Keywords: depleted peat deposit, corrugated PVC pipe, incubation system, incubator nest, flow channel, Chezy coefficient, flow rate, hydraulic slope.

Поступила в редакцию/received: 31.03.2026; после рецензирования/revised: 06.04.2026;
принята/accepted: 17.04.2026

УДК 622.331:622.271

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-3-57-65

ОЦЕНКА ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КУСКОВОГО ТОРФА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОФОБИЗАЦИИ ТОРФОМАССЫ ПЕРЕД ФОРМОВАНИЕМ

A.B. КУПОРОВА, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: a-kuporova@inbox.ru

© Купорова А.В., 2026

В статье рассмотрены вопросы о положительном влиянии гидрофобизации торфяной массы перед формованием на водно-технические свойства кускового торфа. Приведены результаты исследований по определению водопоглотительной и водоотталкивающей способностей образцов кускового торфа. Установлено, что применение гидрофобных добавок при производстве кускового торфа улучшает качественные характеристики исходного торфяного сырья, положительно влияет на водно-физические характеристики готовой продукции, позволяет сократить зависимость технологии производства от метеорологических условий региона добычи, а также свести к нулевым значениям удлинение сушки за счет влагообмена с залежью. Использование гидрофобных добавок обеспечивает снижение начальной влажности кусков торфа при формовании, а следовательно, сокращение энергетических затрат на производство.

Ключевые слова: кусковой торф, добыча, полевая сушка, гидрофобная добавка, технология, водопоглощение, водоотталкивающая способность.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время добыча кускового торфа осуществляется двумя основными способами – фрезформовочным и экскаваторным, которые реализуются в полевых условиях с естественной сушкой с использованием солнечной энергии [1]. Искусственная сушка применяется только в заводских условиях при производстве формованного твердого топлива более высокого качества. К такому топливу относятся полубрикеты, брикеты (рис. 1), термобрикеты и пеллеты, получаемые под высоким давлением в брикетных или пеллетных прессах [2]. В качестве сырья в таких технологиях используется фрезерный торф с влажностью ~35...45 %, который в специальных сушильных установках высушивается до влажности 10...16 %.



Рис. 1. Торфяные брикеты различных производителей

Данный вид формованного твердого топлива обладает рядом достоинств. По сравнению с производством кускового топливного торфа производство топливных торфяных брикетов минимально зависит от погодных условий, благодаря чему выпуск продукции можно осуществлять круглый год. Полученные изделия обладают повышенной прочностью и плотностью, что позволяет значительно снижать транспортные расходы. Торфяные брикеты имеют более удобную форму и размер для сжигания в топочных устройствах колосникового типа. Однако все эти достоинства практически сводятся на нет одним серьезным недостатком: брикетированное в заводских условиях твердое топливо требует больших затрат энергии на искусственную сушку и формование [3, 4].

В связи с этим кусковой торф, при условии снижения зависимости производства от погодных факторов, может составить серьезную конкуренцию брикетированному топливу и удовлетворять потребности регионов в местном топливе. Гидрофобизация торфомассы, в свою очередь, будет вносить изменение в процесс структурообразования при сушке формованного кускового торфа [5, 6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Водопоглощаемость – это способность материала поглощать и удерживать влагу. Водопоглощаемость кускового торфа зависит от многих факторов, основными из которых являются степень разложения, зольность и дисперсность торфомассы. В технологии добычи кускового торфа необходимо стремиться к предельно возможному

снижению этой величины. Для регулирования и прогнозирования поглощения влаги торфом нужно знать физические закономерности данного процесса [3, 7].

Водопоглощаемость зависит как от самого типа и вида торфа, так и от внутри- и межагрегатных связей в его структуре. Например, известно [7], что при одинаковом начальном влагосодержании и равной степени разложения низинный тип торфа поглощает влагу в меньшем количестве и набухает медленнее, чем верховой. В процессе впитывания влаги торф увеличивается в размере за счет набухания отдельных компонентов его твердого (в основном органического) вещества. На практике принято определять величину водопоглощения торфа при нахождении его в воде (при полном погружении) в течение 48 часов, поскольку считается, что к этому времени процесс водопоглощения практически заканчивается (хотя в действительности поглощение влаги может происходить в течение и более длительного промежутка времени).

В экспериментах по определению водопоглощения торфа предварительно взвешенные образцы с определенной влажностью помещались в сетчатые мешочки, изготовленные из полимерного материала, а затем в пластиковые емкости с дистиллированной водой. Исследования проводились при температуре 22 ± 3 °C с таким расчетом, что величина водопоглощения зависела только от физико-химических свойств образцов и времени [3, 8, 9].

По истечении определенного промежутка времени образцы доставали из емкостей и после гравитационного удаления из них свободно стекающей влаги взвешиванием определяли количество впитанной воды. Замеры массы образцов производились через 30 минут, 1, 3, 5, 24 и 48 часов от начала опыта. Принятые временные интервалы позволяли определить характерные фазы впитывания (рис. 2).



Рис. 2. Эксперимент по исследованию водопоглощительных свойств гидрофобно-модифицированного кускового торфа

Определение величины водопоглощения представляет особый интерес для оценки свойств кусковой продукции при натуральной влажности. Величина водопоглощения сразу показывает то количество воды, которое может поглотиться торфом. Установлено, что чем больше начальная влажность торфяной продукции, тем меньше она поглощает воды [3, 10].

При определении водоотталкивающих свойств гидрофобно-модифицированного формованного кускового торфа на поверхность кусков наносились капли воды (рис. 3) и засекали секундомером время полного впитывания каждой капли. После их сушки до равновесного влагосодержания замеряли время впитывания капли контрольными образцами (без добавок) и образцами с добавками, концентрация которых составляла

0,5...4 масс. % (с шагом 0,5 %). Максимальное время впитывания $t_{\max \text{ вп}}$ рассчитывали как среднее арифметическое по десяти измерениям кусков с концентрацией гидрофобизатора 4 % (по соображениям экономической эффективности).

Было установлено, что пленки гидрофобизатора достаточно надежно и стабильно изолируют гидрофобную пористую структуру торфа от проникновения капельножидкой влаги, начиная с концентрации добавки 2 %. При дальнейшем повышении концентрации гидрофобность практически не изменялась.



Рис. 3. Эксперимент по определению водоотталкивающих свойств гидрофобно-модифицированного кускового торфа

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенные эксперименты позволили сделать вывод о положительном влиянии гидрофобизации на водно-технические свойства кускового торфа [3, 11], а также на технологические показатели производства кускового гидрофобно-модифицированного торфа [12].

Количество поглощенной торфом воды в технологии его добычи характеризуется коэффициентом поглощения осадков $K_{ос}$. Теоретически его определение достаточно проблематично, поэтому для конкретных условий он определяется эмпирически, а для технологических расчетов принимается по справочным данным для конкретной области, которые в свою очередь составляются по средним многолетним метеорологическим наблюдениям [13]. При обработке данных, полученных экспериментальным путем, для оценки влияния гидрофобно-модифицирующих добавок на $K_{ос}$ вводили поправочный коэффициент, определяемый по времени смачиваемости поверхности каплями воды. Анализ водоотталкивающих свойств формованного торфа осуществляли по результатам экспериментов по смачиванию поверхности гидрофобно-модифицированного торфа с различными концентрациями добавок и контрольного образца.

Анализ экспериментальных данных по капельному смачиванию поверхности торфяных кусков показывает незначительное увеличение времени впитывания влаги в случае с пушицево-сфагновым торфом по причине положительного влияния на смачиваемость механизма образования гидрофильных гуматов натрия. При этом повышение концентрации гидрофобизатора не приводит к усилению гидрофобного эффекта. Вероятнее всего, это связано с тем, что даже минимальная концентрация позволяет сформировать водоотталкивающее покрытие на пористой структуре торфа. В магелланикум-торфе гидрофобный эффект от применения гидрофобной добавки ГКЖ-11 выражен еще слабее (таблица).

Результаты исследования водоотталкивающих свойств
экспериментальных образцов, модифицированных добавкой ГКЖ-11

Вид торфа	Время полного впитывания капли воды, мин, в зависимости от концентрации добавки, %			
	0	1	2	3
Пушицево-сфагновый, $R_T = 30\%$	115	154	133	142
Магелланикум, $R_T = 5...10\%$	181	189	203	191

Примечание. R_T – степень разложения торфа.

Совершенно другая картина наблюдается при использовании водонерастворимого ГКЖ-94 (рис. 4, 5).

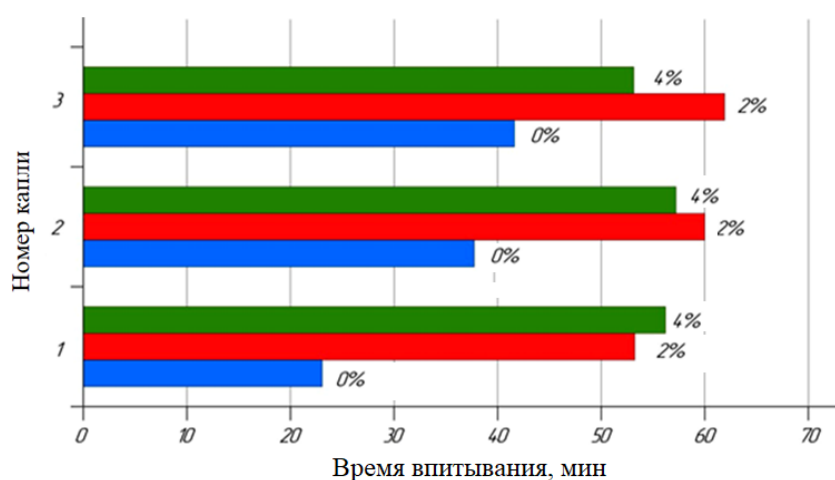


Рис. 4. Зависимость времени впитывания влаги образцами (переходный торф, $R_T = 35\%$) от концентрации добавки ГКЖ-94

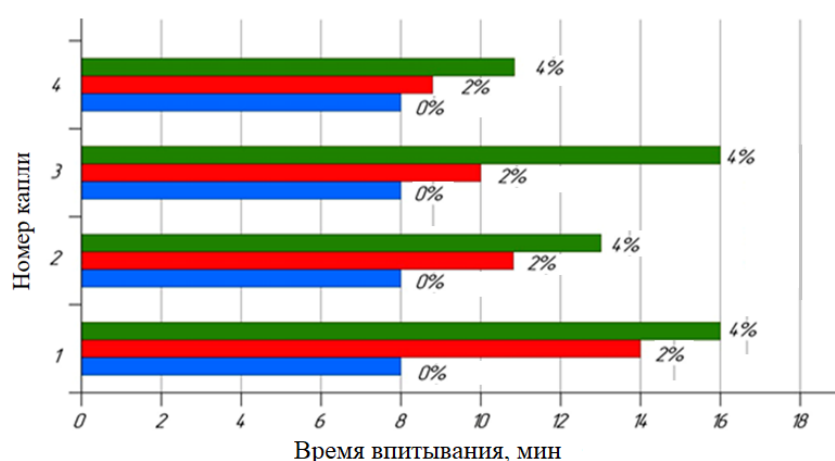


Рис. 5. Зависимость времени впитывания влаги образцами (переходный торф, $R_T = 5...10\%$) от концентрации добавки ГКЖ-94

Пленки этилгидросилоксана (ЭГС) достаточно надежно изолируют гидрофобную пористую структуру торфа от проникновения капельножидкой влаги,

причем это относится ко всем исследованным видам торфа. Установлено увеличение времени смачивания поверхности от 1,4 до 2,7 раза. Вероятнее всего, такое расхождение по времени связано с качеством перемешивания торфомассы перед формованием.

Следующий показатель, определяющий качество кускового торфа, – это водопоглощение, которое для торфа определялось за 48 часов его нахождения в воде в полностью погруженном состоянии. Как правило, интенсивность и величина водопоглощения выше в верховом торфе низкой степени разложения [3, 14].

Проведенные эксперименты показали, что максимальная величина водопоглощения была достигнута за 48 часов верховым торфом и составила около 4 кг/кг. Гидрофобизация структуры не оказала существенного влияния на величину максимального водопоглощения, уменьшив ее всего на 5...7 % (рис. 6).

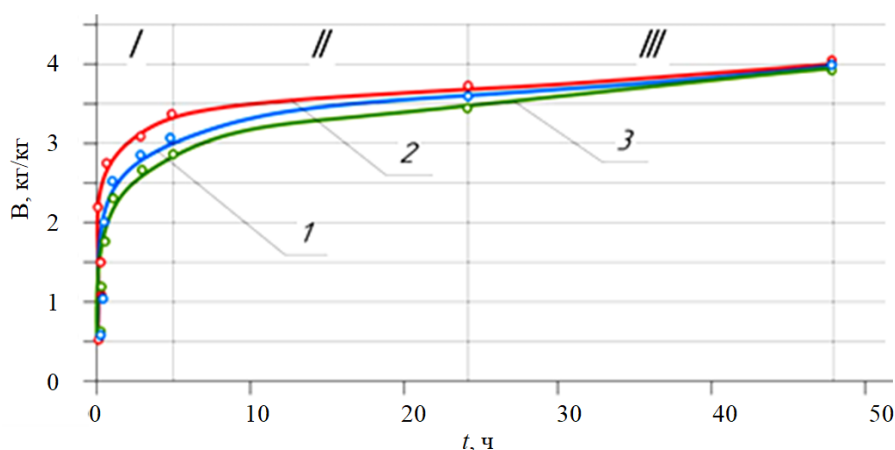


Рис. 6. Кинетика водопоглощения кускового торфа за 48 часов (верховой торф, $R_T = 5...10\%$) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС:
1 – 0 %; 2 – 2 %; 3 – 4 %

Сравнительно высокого водопоглощения удалось достигнуть за счет значительного содержания в куске слаборазложившихся растительных остатков и достаточно большого объема пор.

Максимальная величина водопоглощения кусков переходного высокоразложившегося торфа составила чуть больше 2 кг/кг за 48 часов (рис. 7). Для торфа высокой степени разложения снижение величины максимального водопоглощения при использовании гидрофобизатора было существенно и достигло около 30 %.

Двукратное уменьшение максимального водопоглощения в таком торфе стало возможным за счет изменения его нативной структуры, при анализе которой можно отметить отсутствие относительно крупных пор, характерных для низкоразложившегося торфа, наряду с наличием фрагментов разложившихся растительных остатков и агрегатов гуминовых веществ [14].

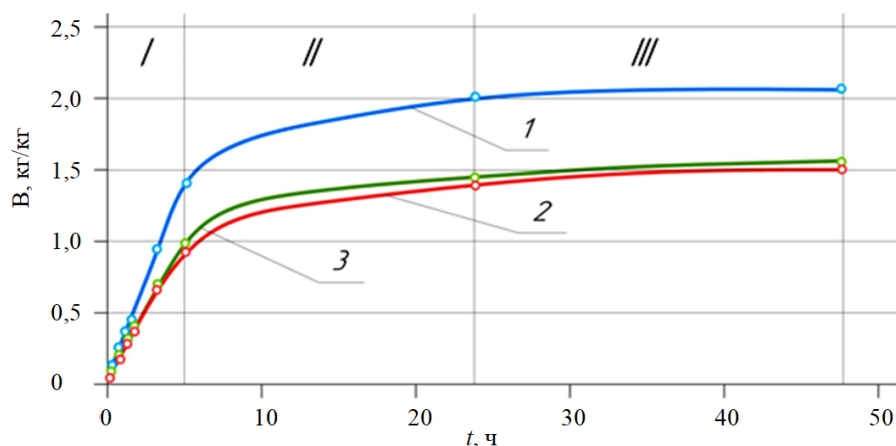


Рис. 7. Кинетика водопоглощения кускового торфа за 48 часов (переходный торф, $R_T = 35\%$) в зависимости от концентрации (масс. %) ЭГС:
 1 – 0 %; 2 – 2 %; 3 – 4 %

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка технологии производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа открывает возможность предварительной модификации торфяного сырья, что приводит к улучшению качественных характеристики выпускаемой продукции, повышению основных технологических показателей добычи и, в свою очередь, положительно отражается на технологическом процессе производства в целом.

Снижение крошимости торфа позволяет увеличить срок его хранения без снижения качества, а также делает возможным транспортировку кускового торфа в удаленные населенные пункты. Торфяные куски с модифицированными добавками способны к снижению водопоглотительной способности, что благоприятно сказывается в процессе их полевой сушки и хранения на открытых площадках [15].

Использование гидрофобных добавок при производстве кускового торфа в полевых условиях улучшает качественные характеристики исходного торфяного сырья, что снижает зависимость технологического процесса от метеорологических условий региона и негативного влияния горно-геологических условий, а также позволяет насытить торфяную матрицу дополнительными гидрофобными компонентами, применяемыми в качестве обогащенного сырья для глубокой химической переработки материалов [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Яблонев А.Л., Пухова О.В. Современные направления использования торфа // *Вестник ТГТУ*. 2010. № 17. С. 104–107.
2. Мисников О.С., Беяков В.А. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля: учебное пособие. Тверь: ТвГТУ, 2016. 168 с.
3. Купорова А.В. Геотехнологическое обоснование производства гидрофобно-модифицированного кускового торфа в полевых условиях: дис. ... канд. техн. наук. Тверь, 2024. 209 с.
4. Справочник по торфу / под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. М.: Недра, 1982. 760 с.

5. Купорова А.В. Процессы структурообразования в технологии добычи кускового торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 4 (16). С. 25–35.
6. Misnikov O., Yablonev A., Kuporova A. Theories of Peat Systems Structure Formation and Prospects for their Practical Use in the Production of Molded Fuel // *AIP Conference Proceedings «Modern Approaches in Engineering and Natural Sciences»*. 2023. V. 2526. P. 040003.
7. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев А.А. Физика и химия торфа: учебное пособие для вузов. М.: Недра, 1989. 304 с.
8. Сергеев Ф.Г. Исследование водопоглонительных свойств мелкокускового торфа и торфяной подстилки: дис. ... канд. техн. наук. Калинин, 1970. 174 с.
9. Купорова А.В., Пухова О.В. Водно-технические свойства торфяного топлива с гидрофобной добавкой // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2018. № 2. С. 201–207.
10. Базин Е.Т., Копенкин В.Д., Косов В.И., Корчунов С.С., Петрович В.М. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. 431 с.
11. Мисников О.С. Изменения водно-физических свойств торфа и торфяных залежей при техногенном воздействии // *Техника и технология горного дела*. 2019. № 2 (5). С. 19–32.
12. Пашенко А.А., Воронков М.Г., Михайленко Л.А. Гидрофобизация. Киев: Наукова думка, 1973. 238 с.
13. Антонов В.Я., Малков Л.М., Гамаюнов Н.И. Технология полевой сушки торфа: учебное пособие. М.: Недра, 1981. 239 с.
14. Афанасьев А.Е., Мисников О.С. Оценка структурных характеристик при сушке формованных органических и органоминеральных биогенных материалов // *Теоретические основы химической технологии*. 2003. Т. 37. № 6. С. 620–628.
15. Misnikov O. Scientific basis of a new method for hydrophobic modification of mineral binders using peat products // *Mires and Peat*. 2016. V. 18. Article 22. P. 1–15.
16. Misnikov O. Perspectives for application of moulded sorption materials based on peat and mineral compositions // *E3S Web of Conferences «II nd International Innovative Mining Symposium»*. 2017. V. 21. P. 01020.

Для цитирования: Купорова А.В. Оценка водно-физических свойств кускового торфа с применением гидрофобизации торфомассы перед формованием // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2026. № 3 (31). С. 57–65.

ASSESSMENT OF WATER-PHYSICAL PROPERTIES OF LUMP PEAT WITH APPLICATION OF PEAT MASS HYDROPHOBIZATION BEFORE FORMING

A.V. KUPOROVA, Cand. Sc.

Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: a-kuporova@inbox.ru

The article discusses the positive effect of hydrophobization of peat mass before molding on the water-technical properties of sod peat. The results of studies are presented to determine the water-absorbing and water-repelling abilities of sod peat samples. It has been

established that the use of hydrophobic additives in the production of lump peat improves the quality characteristics of the initial peat raw materials, has a positive effect on the water-physical characteristics of the finished product, makes it possible to reduce the dependence of production technology on the meteorological conditions of the production region, as well as to reduce the drying elongation to zero due to moisture exchange with the deposit. Application of hydrophobic additives in technology of lump peat production makes it possible to reduce initial moisture content of peat mass before moulding, thus reducing energy costs for production.

Keywords: sod peat, extraction, field drying, hydrophobic additive, technology, water absorption, water-repellent ability.

Поступила в редакцию/received: 27.02.2026; после рецензирования/revised: 17.03.2026;
принята/accepted: 02.04.2026

УДК 621.928.26

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-3-65-73

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ДИСКА ВАЛКОВОГО СОРТИРУЮЩЕ-СЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

С.М. КОЧКАНЯН, канд. техн. наук, А.В. КОНДРАТЬЕВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: avkondr@ya.ru

© Кочканян С.М., Кондратьев А.В., 2026

Представлена математическая модель расчета толщины диска валкового сортирующе-сепарирующего устройства. Модель позволяет учитывать комплекс динамических нагрузок, возникающих при ударном взаимодействии диска с частицами тяжелой фракции, а также центробежные напряжения, обусловленные вращением дисков. При помощи полученной расчетной зависимости можно установить прямую взаимосвязь между кинематическими, конструктивными и технологическими параметрами валкового сортирующего устройства. На основании модели выполнена графическая интерпретация влияния массы тяжелой фракции, частоты вращения и радиуса диска на минимально допустимую его толщину. Установлено, что толщина диска монотонно возрастает с увеличением его радиуса и частоты вращения, а также с повышением массы транспортируемого камня, вследствие роста ударных нагрузок со стороны твердых включений. Практическая значимость модели заключается в возможности рационального выбора толщины дисков при проектировании сортирующих устройств валкового типа для гравия и щебня, что способствует повышению надежности и эффективности их работы.

Ключевые слова: валковое сортирующе-сепарирующее устройство, частота вращения валов, толщина дисков, ударная нагрузка, математическая модель, гравий и щебень.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы сортировки и сепарации полидисперсных минеральных сыпучих материалов являются важным этапом технологических схем в горнодобывающей, строительной и перерабатывающей промышленности. Эффективность последующих