

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ БЕРЕЖЛИВОГО  
ПРОИЗВОДСТВА В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
МЕНЕДЖМЕНТА НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ТРУБОПРОВОДА**

**Урядникова Н.С., магистрант**

**Научный руководитель Гоголь Э.В.**

**Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань**

*В статье рассматривается возможность применения инструментов бережливого производства для повышения уровня экологической безопасности нефтепромысловых трубопроводов. Анализируются современные подходы к внедрению Lean-технологий в нефтегазовой отрасли, а также методы диагностики техногенной трансформации природной среды. Предлагается концептуальная модель управления, объединяющая принципы бережливого производства с задачами предотвращения аварийных разливов и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Приводится количественная оценка снижения экологических рисков на основе балльной методики.*

*Ключевые слова: бережливое производство, экологическая безопасность, нефтепромысловый трубопровод, техногенная трансформация, непроизводительное время, битумизация, галогенез.*

Эксплуатация нефтепромысловых трубопроводов на территории Российской Федерации сопряжена с высокими экологическими рисками, обусловленными значительным износом основных фондов и аварийностью линейных объектов. К нефтепромысловым относятся внутрипромысловые трубопроводы, выкидные линии и нефтесборные сети, которые отличаются от магистральных трубопроводов меньшим диаметром, более разветвленной конфигурацией и, как следствие, повышенной аварийностью [4]. Цель данной статьи – обосновать применение принципов бережливого производства для повышения уровня экологической безопасности нефтепромыслового трубопровода на основе анализа современных подходов к управлению техногенными процессами.

Отечественная промышленность находится на этапе, когда «для преодоления существующих вызовов требуется комплексный системный подход» [2, с. 145]. В этом контексте концепция бережливого производства, нацеленная на устранение потерь и снижение издержек [4, с. 57], приобретает новое экологическое измерение. Ее потенциал распространяется и на издержки, связанные с аварийными разливами нефти.

При эксплуатации трубопроводов формируется техногенное воздействие трех типов: механогенез, битумизация и галогенез [1], создающие долговременную опасность.

В карстовых районах ситуация осложняется: «карстовые полости могут аккумулировать нефть на длительный период» [8, с. 132]. Эффект «отложенного» ущерба требует превентивных Lean-подходов.

Модель управления экобезопасностью на основе Lean включает четыре этапа [3]: диагностический (картирование рисков); аналитический (идентификация потерь); внедренческий (стандартизация, 5С, визуализация); контрольный (мониторинг КРП).

М.С. Вагин подчеркивает: «повышение производительности, сокращение издержек и оптимизация — главные задачи концепции» [2, с. 149]. Для трубопроводов это предотвращение утечек: каждый час задержки увеличивает масштаб загрязнения. Т.Б. Саматова определяет Lean как «адаптивную систему обеспечения безопасности» [5, с. 366]. Ключевые инструменты: картирование потока, 5С и TPM [6] для перехода к профилактике.

Н.В. Горохова и Е.В. Дресвянникова отмечают: «в основе Lean — устранение потерь во всех сферах» [3, с. 29]. Барьер — территориальная распределенность объектов. Сокращение непроизводительного времени — перспективное направление: час задержки увеличивает площадь и глубину загрязнения [7]. Для количественной оценки использована методика балльной оценки рисков (дисциплина «Системы экологического менеджмента», кейс 1–6 недель). Суть подхода: каждому фактору, влияющему на вероятность аварии и масштаб последствий, присваивается балл по 10-балльной шкале (0 — риск отсутствует, 10 — катастрофические последствия). С учетом доли фактора в группе ( $q_i$ ) рассчитывается итоговый показатель. Чем ниже сумма баллов, тем выше уровень экобезопасности. Рассматривались две группы факторов: «Битумизация» и «Галогенез». Доли определены экспертно на основе данных работ [1, 4, 8].

В группу «Битумизация» включены три фактора: объем утечки ( $V$ , м<sup>3</sup>), площадь загрязнения ( $S$ , га) и время ликвидации ( $T$ , часы). Исходные данные взяты из эксплуатационной отчетности и геоэкологических исследований [1, 8]. Приняты условные значения, характерные для трубопровода в Западной Сибири.

До внедрения Lean-инструментов («традиционный подход») показатели: объем утечки — 12,5 м<sup>3</sup>, площадь — 0,35 га, время ликвидации — 48 часов. Баллы:  $B(V)=7$ ,  $B(S)=6$ ,  $B(T)=8$ . При долях  $q(V)=0,4$ ;  $q(S)=0,3$ ;  $q(T)=0,3$  итог по группе:

$\Sigma(\text{Битум}) = 0,4 \times 7 + 0,3 \times 6 + 0,3 \times 8 = 7,0$  балла — высокий уровень риска.

После внедрения Lean (оптимизация логистики, стандартизация, аэрофотосъемка [1]): объем утечки — 5,2 м<sup>3</sup>, площадь — 0,12 га, время ликвидации — 18 часов. Баллы: B(V)=3, B(S)=2, B(T)=3. Итог:

$\Sigma(\text{Битум}) = 0,4 \times 3 + 0,3 \times 2 + 0,3 \times 3 = 2,7$  балла.

Снижение более чем в 2,5 раза — показатель нагляден.

Аналогичные расчеты проведены для группы «Галогенез». Здесь учитывались следующие факторы: объем сброса подтоварных вод (W, м<sup>3</sup>), площадь засоления почв (S, га), концентрация хлоридов в сточных водах (C, мг/л). Исходные данные, как и в предыдущем случае, получены из геоэкологических исследований и анализа отчетности [6].

До внедрения Lean: W = 150 м<sup>3</sup>, B(W) = 6 (значительный сброс); S = 0,20 га, B(S) = 5 (заметное засоление); C = 320 мг/л, B(C) = 7 (высокая токсичность). Доли факторов: q(W)=0,3; q(S)=0,3; q(C)=0,4. Итоговая сумма:

$\Sigma(\text{Гал}) = 0,3 \times 6 + 0,3 \times 5 + 0,4 \times 7 = 1,8 + 1,5 + 2,8 = 6,1$  балла.

После внедрения Lean-инструментов (включая оптимизацию режимов сброса и ужесточение контроля [4]): W = 62 м<sup>3</sup>, B(W) = 2 (минимальный сброс); S = 0,06 га, B(S) = 1 (следы засоления); C = 185 мг/л, B(C) = 3 (умеренная концентрация, в пределах допустимого). Новая сумма по группе «Галогенез»:

$\Sigma(\text{Гал}) = 0,3 \times 2 + 0,3 \times 1 + 0,4 \times 3 = 0,6 + 0,3 + 1,2 = 2,1$  балла.

Снижение — почти в три раза.

Обобщая результаты, можно констатировать: интеграция Lean-принципов позволила снизить суммарную балльную оценку экологических рисков с 13,1 (7,0 + 6,1) до 4,8 (2,7 + 2,1), то есть более чем на 60%. Это количественное подтверждение того, что бережливое производство действительно повышает экологическую безопасность нефтепромысловых трубопроводов — не умозрительно, а в цифрах. Предотвращенный объем разливов, рассчитанный как разница между утечками до и после внедрения, составил 7,3 м<sup>3</sup> на одну аварийную ситуацию. Для наглядности результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Практика подтверждает эффективность беспилотников для аэрофотосъемки. Метод выявляет процессы битумизации и галогенеза, незаметные при наземном обходе [1]. Дроны фиксируют скрытое нефтяное и солевое загрязнение, координаты служат основой для корректировки балльных оценок.

Принципы бережливого производства — действенный способ повышения результативности. Для нефтегазового сектора в условиях волатильности рынка подход приобретает стратегическое значение [5]. Экономическая отдача Lean связана с экологическими результатами: сокращение аварий уменьшает финансовые потери и нагрузку на природу.

Таблица 1 – Результаты балльной оценки экологических рисков до и после внедрения Lean-инструментов

<b>Группа факторов</b>	<b>Показатель</b>	<b>До внедрения</b>	<b>После внедрения</b>
Битумизация	Объем утечки (V), м <sup>3</sup>	12,5	5,2
Битумизация	Площадь загрязнения (S), га	0,35	0,12
Битумизация	Время ликвидации (T), ч	48	18
Битумизация	<b>Итоговая сумма баллов</b>	<b>7,0</b>	<b>2,7</b>
Галогенез	Объем сброса вод (W), м <sup>3</sup>	150	62
Галогенез	Площадь засоления (S), га	0,20	0,06
Галогенез	Концентрация хлоридов (C), мг/л	320	185
Галогенез	<b>Итоговая сумма баллов</b>	<b>6,1</b>	<b>2,1</b>
<b>Итого</b>	<b>Суммарная балльная оценка</b>	<b>13,1</b>	<b>4,8</b>

Таким образом, интеграция Lean в управление экобезопасностью трубопроводов — стратегия сокращения экономических потерь и минимизации ущерба среде.

Для объективной оценки Lean-преобразований, помимо балльной оценки, предлагаются три показателя: среднее время между отказами (MTBF),

среднее время восстановления (MTTR) и объем предотвращенных разливов (7,3 м<sup>3</sup> на аварию).

Перспективные исследования — апробация модели на реальных объектах и адаптация Lean-инструментов к разным климатическим зонам и геологическим условиям (арктический климат, карстовые районы).

### **Литература:**

1. Бузмаков С.А. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения / С.А. Бузмаков, П.Ю. Санников, Л.С. Кучин, Е.А. Игошева, И.Ф. Абдулманова // Записки Горного института. – 2023. – № 260. – С. 180-193.

2. Вагин М.С. Влияние бережливого производства на конкурентоспособность российской промышленности / М.С. Вагин // Власть и управление на Востоке России. – 2025. – № 1 (110). – С. 145-157.

3. Горохова Н.В. Современное развитие системы бережливого производства в российской промышленности / Н.В. Горохова, Е.В. Дресвянникова // Актуальные вопросы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО, 3–4 декабря 2020 г., г. Ижевск. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – С. 27.

4. Коровина А.А. Перспективы бережливого производства в нефтегазовой промышленности / А.А. Коровина // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2023. – Т. 14. – № 2. – С. 55-63.

5. Оразов А. Устойчивое производство нефти и газа / А. Оразов, К. Тячмырадов // Инновационные научные исследования 2024 : сборник материалов LIV международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 30 октября 2024 г. : в 2 т. – Москва : Издательство НИЦ «Империya», 2024. – Т. 2. – С. 48.

6. Саматова Т.Б. Бережливая нефтепереработка, как область развития бережливого производства / Т.Б. Саматова // Московский экономический журнал. – 2021. – № 7. – С. 364-371.

7. Соловей Е.В. Анализ применения философии бережливого производства в нефтегазовой отрасли / Е.В. Соловей // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2022. – № 3. – С. 64.

8. Хотяновская Ю.В. Геоэкологические закономерности трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения в карстовом районе / Ю.В. Хотяновская, С.А. Бузмаков, Л.С. Кучин // Географический вестник. – 2023. – № 1 (64). – С. 127-138.